ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA DEL EJÉRCITO

ESCUELA DE POSTGRADO



TESIS

Propuesta Conceptual de Aeronaves no Tripuladas para Apertura de Brechas en Campos Minados Durante Maniobras de un Ejército de Operaciones

AUTOR:

BACH. Juan Manuel Donayre Davila

(orcid.org/0000-0003-4523-4516)

Para optar al Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS MILITARES

Con mención en Planeamiento Estratégico y Toma de decisiones

ASESOR:

DR. Gamaliel Manuel Gustavo Talavera Prado

(orcid.org/0000-0002-5167-1897)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Empleo de GUB, GUC, Operaciones GC y GNC

2026

ACTA DE SUSTENCIÓN

ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA DEL EJÉRCITO
ESCUELA DE POSTGRADO

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS No 022 – 2026/ DI

En la Escuela Superior de Guerra del Ejército - Escuela de Postgrado, a los veintinueve (29) días del mes de octubre del año dos mil veintiséis, siendo las 12.00 horas, se reunió el jurado evaluador conformado por los docentes:

❖ Doctor	**IVAN RICARDO BARRETO BARDALES**	**Presidente**
❖ Maestro	**RONALD PAUL TERRONES AVELLANEDA**	**Secretario**
❖ Doctor	**WILDER FABIO RAMOS PALACIOS**	**Vocal**

Designados según Resolución de Expedito para Sustentación de Tesis **N° 022-2026/SIE/DGI/ESGE-EPG** del 22 de octubre de 2026, para evaluar la sustentación presencial y defensa de la Tesis de Grado titulada **"PROPUESTA CONCEPTUAL DE AERONAVES NO TRIPULADAS PARA APERTURA DE BRECHAS EN CAMPOS MINADOS DURANTE MANIOBRAS DE UN EJÉRCITO DE OPERACIONES"**, presentado por el Bachiller **JUAN MANUEL DONAYRE DAVILA**, para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias Militares con mención en Planeamiento Estratégico y Toma de Decisiones, de acuerdo a lo establecido en el artículo 45° de la Ley Universitaria N° 30220.

Luego de atender la sustentación presencial, defensa de la tesis de grado y realizadas las preguntas de rigor, el jurado acordó concederle la calificación de diecisiete (17).

En mérito del cual, el jurado aprueba (aprueba / no aprueba) que se le otorgue el Grado Académico de Maestro en Ciencias Militares con mención en Planeamiento Estratégico y Toma de Decisiones.

Firmado, en Chorrillos a los veintinueve (29) días del mes de octubre del año dos mil veintiséis.

DR. IVAN RICARDO BARRETO BARDALES PRESIDENTE	MG. RONALD PAUL TERRONES AVELLANEDA SECRETARIO	DR. WILDER FABIO RAMOS PALACIOS VOCAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, por acompañarme durante este camino y comprender el tiempo, esfuerzo y dedicación que demandó alcanzar esta meta. Gracias por su paciencia, confianza y apoyo constante, especialmente en los momentos en que las responsabilidades y el estudio exigieron un esfuerzo mayor. Su presencia fue importante para continuar y culminar esta etapa de mi formación profesional. Este logro también les pertenece.

.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por su apoyo, paciencia y comprensión durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, expreso mi agradecimiento a la Escuela Superior de Guerra del Ejército – Escuela de Postgrado, por los conocimientos y experiencias recibidos durante mi formación académica. Agradezco también a los docentes, asesores y especialistas que brindaron su tiempo, experiencia y orientación durante el desarrollo del estudio, así como a quienes participaron en la investigación y compartieron sus conocimientos para hacer posible este trabajo.

.

ÍNDICE

PORTADA ..... **i**

ACTA DE SUSTENCIÓN ..... **ii**

DEDICATORIA ..... **iii**

AGRADECIMIENTO ..... **iv**

ÍNDICE ..... **v**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **vii**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **viii**

RESUMEN ..... **ix**

ABSTRACT ..... **x**

REPORTE DE SIMILITUD ..... **xi**

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO ..... **xii**

INTRODUCCIÓN ..... **xii**

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **1**

1.1 Descripción de la Realidad Problemática 1

1.2 Formulación del Problema 4

1.3 Objetivos de la Investigación 4

1.4 Justificación de la Investigación 5

1.5 Viabilidad de la Investigación 7

CAPITULO II: ESTUDIO DEL ARTE **9**

2.1 Antecedentes de la Investigación 9

2.2 Bases teóricas 14

2.3 Marco conceptual 21

2.4 Definición de términos 30

CAPITULO III: METODOLOGÍA **37**

3.1 Diseño Metodológico 37

3.2 Diseño Muestral 40

3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información 41

3.4 Rigor científico. 44

3.5 Técnica para el Procesamiento de la Información 45
3.6 Aspectos Éticos 46
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y SÍNTESIS 47
4.1 Definición de Categorías y Subcategorías 47
4.2 Soporte de Categorías 92
4.3 Red Semántica 114
4.4 Triangulación 123
CAPÍTULO V: DIÁLOGO TEÓRICO-EMPÍRICO 132
CONCLUSIONES 140
RECOMENDACIONES 143
PROPUESTA PARA ENFRENTAR LA REALIDAD PROBLEMÁTICA 146
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 161
ANEXOS 165
Anexo 01: Matriz de consistencia 166
Anexo 02: Validación del instrumento 168
Anexo 03: Instrumentos de recolección de Información 174
Anexo 04: Autorización para la recolección de datos 180
Anexo 05: Consentimiento Informado 182

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Organización de los datos mediante las técnicas cualitativas 53
Tabla 2 Categorías y subcategorías de análisis 54
Tabla 3 Recolección y organización de los datos obtenidos mediante las entrevistas 54
Tabla 4 Definición de categorías a partir de la entrevista 76
Tabla 5 Definición de categorías a partir de la observación 81
Tabla 6 Definición de categorías a partir del análisis documental 84
Tabla 7 Triangulación integral mediante las técnicas cualitativas 125
Tabla 8 Actividades propuestas para la definición de la necesidad de Ingeniería 152
Tabla 9 Actividades propuestas para la adecuación de las capacidades UAS a la tarea..153
Tabla 10 Actividades para la obtención, procesamiento y flujo de información 153
Tabla 11 Actividades propuestas para la integración del personal y la organización 154
Tabla 12 Aplicación progresiva de la propuesta conceptual 156
Tabla 13 Responsabilidades consideradas para la aplicación de la propuesta 157
Tabla 14 Recursos considerados para la evaluación de la propuesta 157
Tabla 15 Indicadores propuestos para la evaluación de la integración 158
Tabla 16 Criterios propuestos para evaluar la propuesta conceptual.....159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso metodológico para la definición de categorías y subcategorías. 49
Figura 2 Red semántica general de categorías 116
Figura 3 Red semántica de la categoría Capacidades de las aeronaves no tripuladas 117
Figura 4 Categoría Operaciones de apertura de brechas en campos minados 119
Figura 5 Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas 120
Figura 6 Secuencia conceptual de integración 155

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo proponer la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones. Se desarrolló con enfoque cualitativo y participaron seis especialistas con experiencia relacionada con operaciones de Ingeniería, empleo de UAS, sensores, procesamiento de información, planeamiento y conducción de operaciones. La información se obtuvo mediante entrevistas semiestructuradas, observación cualitativa y análisis documental, y fue organizada, analizada y triangulada según las categorías y subcategorías del estudio. Los hallazgos mostraron que los UAS pueden ampliar el reconocimiento, vigilancia y obtención de información del terreno, aunque no reemplazan el reconocimiento especializado de Ingeniería ni permiten confirmar por sí solos la presencia de amenazas. También se identificó que su aporte al brechado depende de que la información responda a las necesidades de Ingeniería, sea procesada, georreferenciada y entregada oportunamente. Se concluyó que la integración debe partir de la tarea y de la necesidad de información para determinar las capacidades tecnológicas, comunicaciones, personal y organización requeridos. A partir de estos resultados se formuló una propuesta conceptual que articula estos elementos para apoyar las operaciones de apertura de brechas.

Palabras clave: Aeronaves no tripuladas, apertura de brechas, campos minados, Ingeniería Militar, movilidad.

ABSTRACT

The research aimed to propose the integration of unmanned aircraft system capabilities into minefield breaching operations during the maneuvers of an Army of Operations. A qualitative approach was used, involving six specialists with experience related to engineering operations, UAS employment, sensors, information processing, planning, and the conduct of operations. Information was collected through semi-structured interviews, qualitative observation, and document analysis, and was organized, analyzed, and triangulated according to the study categories and subcategories. The findings showed that UAS can enhance reconnaissance, surveillance, and terrain information collection, although they do not replace specialized engineer reconnaissance or independently confirm the presence of threats. Their contribution to breaching operations was also found to depend on whether the information responds to engineering needs and is processed, georeferenced, and delivered in a timely manner. It was concluded that integration should begin with the task and information requirements in order to determine the necessary technological capabilities, communications, personnel, and organizational requirements. Based on these findings, a conceptual proposal was developed to articulate these elements in support of minefield breaching operations.

Keywords: Unmanned aircraft systems, breaching operations, minefields, Military Engineering, mobility.

.

REPORTE DE SIMILITUD

RG_MCCMM_CRL_DONAYRE.docx

Escuela Militar de Chorrillos Coronel Francisco Bolognesi

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::12350:642012649

Fecha de entrega
20 oct 2026, 11:06 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
20 oct 2026, 11:17 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
RG_MCCMM_CRL_DONAYRE.docx

Tamaño del archivo
6.3 MB

199 páginas

60.248 palabras

361.984 caracteres

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

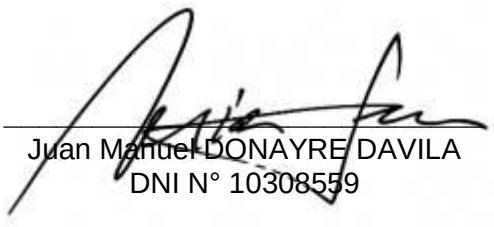
Fuentes principales

3% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO

(Grado Académico de Maestro)

Por el presente documento, yo Juan Manuel DONAYRE DAVILA, identificado/a con DNI N° 10308559, egresado del Programa de Comando y Estado Mayor informo que he elaborado el Trabajo de Investigación denominado **"**Propuesta conceptual de aeronaves no tripuladas para apertura de brechas en campos minados durante maniobras de un ejército de operaciones" para optar por el Grado Académico de Maestro en la Maestría de Ciencias Militares, y declaro que este trabajo ha sido desarrollado íntegramente por los autores que lo suscriben y afirmo/afirmamos que no existe plagio de ninguna naturaleza. Así mismo, dejo/dejamos en constancia de que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo, por lo que no se ha asumido como propias las ideas vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos como en Internet. Así mismo, afirmo/afirmamos que soy/somos responsable solidario de todo su contenido y asumo, como autor, las consecuencias ante cualquier falta, error u omisión de referencias en el documento. Sé que este compromiso de autenticidad y no plagio puede tener connotaciones éticas y legales. Por ello, en caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a lo dispuesto en las normas académicas que dictamine el Escuela Superior de Guerra del Ejército – Escuela de Posgrado y a lo estipulado en el Reglamento interno.



Juan Manuel DONAYRE DAVILA
DNI N° 10308559

INTRODUCCIÓN

Las operaciones de apertura de brechas en campos minados requieren obtener información sobre el terreno y los obstáculos antes de comprometer al personal y los medios encargados de su reducción. Reconocer los accesos, identificar sectores de interés, conocer las características del obstáculo y mantener actualizada la información durante la operación permite preparar las acciones de Ingeniería y contribuir a la movilidad de la fuerza. Estas actividades también implican riesgos, especialmente cuando el reconocimiento exige aproximarse a zonas donde la ubicación y características de las amenazas no se conocen con suficiente precisión. En este escenario, las aeronaves no tripuladas ofrecen posibilidades para ampliar el reconocimiento y vigilancia, obtener información a distancia y emplear sensores que permitan observar determinadas características del terreno. García-Fernández et al. (2023) abordaron el empleo de sistemas y sensores orientados a la detección de amenazas, mostrando las posibilidades que presentan estas tecnologías para obtener información en escenarios donde existen minas. De manera similar, Lee y Lee (2024) estudiaron el empleo de tecnologías aplicadas a la identificación de este tipo de amenazas, evidenciando avances que pueden ampliar las posibilidades de reconocimiento sin depender únicamente de la aproximación directa del personal.

En el ámbito militar, estas capacidades adquieren utilidad cuando la información obtenida responde a una necesidad concreta de la operación. Disponer de una aeronave, sensores o imágenes del terreno no significa por sí mismo contar con una capacidad integrada para apoyar la apertura de una brecha. Ingeniería necesita información relacionada con el terreno, los accesos, las características del obstáculo, las amenazas y los posibles sectores de intervención, mientras que los UAS presentan posibilidades y limitaciones que dependen de la plataforma, los sensores, las condiciones del entorno y la tarea que se pretende apoyar. El ATP 3-34.81 del Department of the Army (2016) desarrolla el reconocimiento de Ingeniería como una actividad orientada a obtener información necesaria

para apoyar el planeamiento y las operaciones, mientras que el FM 3-34 del Department of the Army (2025) relaciona las actividades de Ingeniería con la superación de obstáculos, la movilidad y el apoyo a la maniobra. La relación entre estas necesidades y las capacidades que pueden proporcionar los UAS planteó la necesidad de comprender cómo ambas podrían integrarse dentro de una operación de apertura de brechas.

A partir de esta realidad, la investigación centró su atención en proponer la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones. El interés no estuvo únicamente en identificar las prestaciones tecnológicas de estas plataformas, sino en comprender qué capacidades podrían resultar útiles para Ingeniería, cómo se desarrollan las operaciones de apertura de brechas y qué condiciones deberían considerarse para relacionar ambas capacidades. Para ello, se analizaron aspectos vinculados con el reconocimiento y vigilancia, los sensores y sistemas de detección, la identificación de amenazas, el procesamiento de la información y la georreferenciación. También se abordaron el reconocimiento y reducción del obstáculo, la seguridad, la movilidad y el apoyo a la maniobra, junto con los requerimientos tecnológicos, de la tarea, de información y comunicaciones, de personal y organizacionales necesarios para plantear su posible integración.

Para abordar el objeto de estudio se adoptó un enfoque cualitativo, orientado a comprender las capacidades, necesidades y requerimientos relacionados con el posible empleo de UAS en estas operaciones. La información se obtuvo mediante entrevistas semiestructuradas realizadas a seis especialistas con experiencia relacionada con operaciones de Ingeniería, empleo de UAS, sensores, procesamiento de información, planeamiento y conducción de operaciones. Asimismo, se emplearon la observación cualitativa y el análisis documental, utilizando como instrumentos una guía de entrevista, una guía de observación y una ficha de análisis documental. La información obtenida fue organizada a partir de las categorías y subcategorías establecidas en la investigación y posteriormente analizada mediante unidades de análisis, síntesis por técnicas y triangulación. Este procedimiento permitió contrastar las apreciaciones de los especialistas, las situaciones

observadas y la información procedente de la doctrina y los estudios revisados, manteniendo la diferencia entre las posibilidades identificadas para estas tecnologías y aquellas capacidades que pudieron observarse durante el trabajo de campo.

El informe de investigación se organizó de manera progresiva para facilitar la comprensión del objeto estudiado. En el primer capítulo se desarrolló la realidad problemática relacionada con las capacidades de los UAS y las necesidades que presentan las operaciones de apertura de brechas en campos minados, así como la formulación del problema, los objetivos, la justificación y la viabilidad de la investigación. En el segundo capítulo se presentaron los antecedentes nacionales e internacionales relacionados con el empleo de aeronaves no tripuladas, sensores, detección de amenazas y operaciones de Ingeniería. También se desarrollaron las bases teóricas que permitieron analizar el objeto de estudio desde la conciencia situacional, la teoría de accidentes normales, el modelo del queso suizo, las organizaciones de alta confiabilidad, la teoría del ajuste tarea-tecnología y la perspectiva sociotécnica, junto con el marco conceptual y doctrinario empleado durante la investigación.

En el tercer capítulo se desarrolló la metodología utilizada, precisando el enfoque de investigación, los participantes, las técnicas e instrumentos empleados para obtener la información y el procedimiento seguido para su organización y análisis. En el cuarto capítulo se presentó el análisis y síntesis de los datos a partir de las tres categorías y quince subcategorías del estudio, avanzando desde la organización de la información obtenida mediante las entrevistas, la observación y el análisis documental hacia el soporte de las categorías, la construcción de la red semántica y la triangulación. Sobre esta base, el quinto capítulo desarrolló el diálogo teórico-empírico mediante seis hallazgos que permitieron interpretar las relaciones encontradas entre las capacidades de los UAS, las necesidades de las operaciones de apertura de brechas y los requerimientos necesarios para su integración, contrastándolos con las bases teóricas, doctrinarias y académicas consideradas en el estudio.

Como parte del cierre de la investigación, se formularon las conclusiones en correspondencia con el objetivo general y los objetivos específicos, y se plantearon recomendaciones orientadas a continuar evaluando progresivamente el empleo de estas capacidades mediante actividades de planeamiento, simulación y entrenamiento. Asimismo, se elaboró una propuesta conceptual para la integración de aeronaves no tripuladas en operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones. La propuesta se estructuró a partir de cuatro componentes relacionados: definición de la necesidad de Ingeniería, adecuación de las capacidades UAS a la tarea, obtención, procesamiento y flujo de la información, e integración del personal y la organización. Su planteamiento parte de la necesidad operacional de Ingeniería y continúa con la determinación de la información requerida, las capacidades tecnológicas necesarias, la obtención y procesamiento de los datos y la entrega de un producto útil al elemento encargado del brechado. De esta manera, se buscó relacionar las posibilidades que ofrecen los UAS con las necesidades propias de la operación, sin atribuirles la ejecución física de la brecha ni asumir capacidades de detección de minas que no fueron comprobadas experimentalmente durante la investigación.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

Las operaciones de apertura de brechas en campos minados continúan siendo una actividad compleja dentro de las operaciones militares terrestres. La necesidad de reconocer, identificar y reducir obstáculos en zonas potencialmente contaminadas exige la intervención de personal y medios especializados que deben operar en entornos donde el riesgo sigue estando presente durante gran parte de la misión. En la práctica, estas condiciones obligan a las fuerzas a desarrollar sus operaciones en un entorno de riesgo permanente. Además de los efectos que esto puede tener sobre la seguridad del personal, también pueden presentarse retrasos en el avance y dificultades para mantener el ritmo previsto de la maniobra.

En los últimos años, las aeronaves no tripuladas han adquirido una presencia cada vez mayor en las operaciones militares. Aunque inicialmente fueron empleadas para tareas de observación y vigilancia, los avances tecnológicos han ampliado sus posibilidades de uso en distintos escenarios operacionales. Actualmente, estas plataformas pueden incorporar diferentes sensores que permiten obtener información sobre amenazas que no siempre pueden reconocerse mediante una observación convencional. García et al. (2023) estudiaron un radar de penetración terrestre instalado en un UAV y mostraron sus posibilidades para detectar amenazas enterradas. Desde otra alternativa tecnológica, Lee y Lee (2024) analizaron el empleo de un magnetómetro transportado por UAV para reconocer anomalías magnéticas producidas por minas terrestres. Estos avances muestran que las posibilidades de una aeronave no tripulada ya no dependen solamente de observar el terreno desde el aire, sino también de los equipos que puede transportar y de la información que estos permiten obtener.

A pesar de estas posibilidades, el empleo de aeronaves no tripuladas en campos minados también presenta dificultades. Las condiciones del terreno pueden afectar la

información obtenida y limitar el desempeño de los sistemas de detección. Baur et al. (2024) analizaron el efecto de la cobertura vegetal sobre la detección de objetos mediante UAV en ambientes de campos minados y encontraron que esta condición puede afectar los resultados. Esto muestra que disponer de una determinada tecnología no garantiza por sí solo que pueda ser utilizada de la misma manera en cualquier escenario. Por ello, además de conocer las capacidades disponibles, resulta necesario comprender las condiciones en las que pueden ser empleadas y la utilidad que tendría la información obtenida dentro de una operación militar.

En América Latina, también se vienen desarrollando estudios que buscan aprovechar estas tecnologías frente al problema de las minas. Forero et al. (2025), en Colombia, estudiaron la detección de minas antipersona mediante imágenes termográficas obtenidas desde un dron y procesadas mediante técnicas de aprendizaje automático. Sus resultados mostraron que las aeronaves no tripuladas pueden servir como plataformas para recoger información de áreas potencialmente peligrosas y apoyar la identificación de posibles amenazas. Estas experiencias reflejan que el interés por el empleo de drones frente a este problema también está presente en la región, aunque buena parte de los trabajos continúa concentrándose principalmente en la detección de minas y no en su integración dentro de una operación militar de apertura de brechas.

En el Perú, el interés por las aeronaves no tripuladas ha ido aumentando de manera gradual en los últimos años, impulsado tanto por el avance de la tecnología como por la búsqueda de nuevas capacidades para fortalecer las operaciones militares. Fernández (2024) estudió su empleo en operaciones de reconocimiento de patrullas de combate y mostró las posibilidades que ofrecen para ampliar la observación de los sectores donde actúan las unidades. De manera más amplia, Revilla (2025) analizó el empleo de drones dentro de las capacidades militares de la Fuerza Terrestre del Perú. Sin embargo, los estudios nacionales revisados se orientan principalmente hacia el reconocimiento, vigilancia y fortalecimiento de capacidades militares, mientras que todavía resulta limitado el conocimiento sobre su empleo específico en operaciones de apertura de brechas en campos minados.

Por otro lado, la apertura de una brecha responde a una necesidad operacional que va más allá de detectar una mina. El Department of the Army (2025) relaciona estas actividades con la movilidad y con la necesidad de disminuir los efectos que producen los obstáculos sobre la libertad de movimiento de una fuerza. Desde esta perspectiva, una operación de brechado requiere reconocer el obstáculo, reducir sus efectos, proteger a la fuerza y generar las condiciones necesarias para continuar el movimiento. Esto permite advertir que la detección constituye solo una parte del problema, debido a que la información obtenida debe tener utilidad dentro de una secuencia operacional más amplia.

Al contrastar ambas líneas aparece una dificultad todavía poco desarrollada. Por un lado, la literatura científica muestra capacidades relacionadas con reconocimiento, sensores, detección de amenazas, procesamiento de información y representación espacial del terreno. Popov et al. (2024) mostraron, por ejemplo, que la información obtenida mediante UAV puede organizarse en una plataforma geoinformática para detectar y elaborar mapas de minas y otros objetos explosivos. Por otro lado, la doctrina militar desarrolla procedimientos orientados al reconocimiento de obstáculos, su reducción, la apertura de brechas, la protección de la fuerza y el mantenimiento de la movilidad. Sin embargo, estos conocimientos suelen desarrollarse de manera separada y todavía resulta poco claro qué requerimientos deberían considerarse para que las capacidades disponibles en las aeronaves no tripuladas puedan ser empleadas de manera adecuada frente a las necesidades que aparecen durante una operación de apertura de brechas.

En ese contexto, el vacío de conocimiento ya no está solo en saber si una aeronave no tripulada puede detectar minas, pues la evidencia científica muestra que existen diferentes posibilidades para hacerlo. El problema también está en conocer qué se requiere para que estas capacidades puedan ser empleadas durante una operación de apertura de brechas y respondan a necesidades como el reconocimiento del obstáculo, la apertura de la brecha, la protección de la fuerza, la movilidad y el apoyo a la maniobra. Por ello, además de analizar las capacidades disponibles y la forma en que se desarrollan estas operaciones, fue necesario conocer los requerimientos que debían considerarse para el empleo de las

aeronaves no tripuladas durante el brechado. Con esta información se formuló una propuesta conceptual que permitió integrar estas capacidades en las operaciones de apertura de brechas durante las maniobras de un Ejército de Operaciones.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿De qué manera podrían integrarse las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones?

1.2.2 Problemas específicos

¿Qué capacidades de las aeronaves no tripuladas podrían emplearse en las operaciones de apertura de brechas en campos minados?

¿Cómo se desarrollan las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones?

¿Qué requerimientos deberían considerarse para el empleo de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Proponer la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar las capacidades de las aeronaves no tripuladas que podrían emplearse en las operaciones de apertura de brechas en campos minados.

Analizar el desarrollo de las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones.

Analizar los requerimientos para el empleo de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones.

1.4 Justificación de la Investigación

Desde el punto de vista teórico, esta investigación buscó ampliar el conocimiento sobre el empleo de aeronaves no tripuladas en operaciones de apertura de brechas en campos minados. Los estudios revisados muestran avances en reconocimiento, uso de sensores, detección de minas, procesamiento de información y representación de amenazas en el terreno. La doctrina militar, por su parte, desarrolla aspectos relacionados con el reconocimiento de obstáculos, su reducción, la apertura de brechas y la movilidad de la fuerza. Sin embargo, estos temas suelen estudiarse por separado y todavía existe poca claridad sobre lo que se requiere para emplear las capacidades de estos sistemas dentro de una operación de brechado. Por ello, el estudio buscó conocer las capacidades que pueden aportar las aeronaves no tripuladas, comprender cómo se desarrollan las operaciones de apertura de brechas e identificar los requerimientos que deben considerarse para su empleo. Con estos elementos se contó con una base para formular una propuesta conceptual de integración.

En el aspecto práctico, el estudio permitió conocer dónde y de qué manera las aeronaves no tripuladas podrían ser empleadas durante una operación de apertura de brechas. Una de sus posibilidades está relacionada con obtener información sobre el terreno y las posibles amenazas antes de que el personal tenga que aproximarse a determinadas zonas. También pueden apoyar el reconocimiento del obstáculo y la ubicación de sectores de interés para la operación. Pero conocer estas posibilidades no es suficiente. También se necesitó identificar qué condiciones debían cumplirse para emplearlas durante el brechado y qué limitaciones podían presentarse. Esta información permitió plantear una propuesta que respondiera a las necesidades de la operación y contribuyera con la movilidad y la continuidad de la maniobra.

En el aspecto metodológico, la investigación permitió estudiar el problema desde tres componentes que guardan relación entre sí. El primero comprende las capacidades de las aeronaves no tripuladas; el segundo corresponde a las operaciones de apertura de brechas en campos minados; y el tercero aborda los requerimientos para el empleo de estos sistemas dentro del brechado. El enfoque cualitativo permitió recoger y contrastar información proveniente de la literatura científica, la doctrina militar y las fuentes consideradas para el estudio. Las categorías y subcategorías ayudaron a ordenar esta información y orientar su análisis, sin dejar de lado otros aspectos que pudieran aparecer durante el desarrollo de la investigación. Los resultados obtenidos permitieron comprender mejor el problema y sirvieron de base para construir la propuesta conceptual.

En el aspecto social, la importancia del estudio está relacionada con el riesgo al que se encuentra expuesto el personal que interviene en zonas donde existen minas y otros objetos explosivos. En algunas situaciones, el reconocimiento exige aproximarse a lugares sobre los cuales todavía no se dispone de suficiente información. Frente a esta situación, el empleo de medios que permitan obtener información a distancia podría reducir la exposición innecesaria del personal durante determinadas actividades. Esto no quiere decir que una aeronave no tripulada pueda eliminar por sí sola los riesgos presentes en un campo minado. Su aporte puede complementar el trabajo del personal y de los medios empleados durante el brechado, brindando información que pueda contribuir al desarrollo de la operación con mejores condiciones de seguridad.

Desde el punto de vista institucional, el estudio respondió a la necesidad de conocer mejor las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías para las operaciones militares del Ejército del Perú. Las aeronaves no tripuladas tienen diferentes posibilidades de empleo, pero incorporarlas a una operación de apertura de brechas requiere algo más que disponer de estos sistemas. Se necesitó conocer qué capacidades podían resultar útiles, qué necesidades presentaba el brechado y qué requerimientos debían considerarse para su empleo. Con la información obtenida se buscó formular una propuesta conceptual que permitiera integrar estas capacidades con el reconocimiento del obstáculo, la apertura de la brecha, la protección

de la fuerza, la movilidad y el apoyo a la maniobra. De esta manera, el estudio pudo aportar elementos que ayudaran a analizar su posible empleo dentro de este tipo de operaciones.

1.5 Viabilidad de la Investigación

La investigación contó con condiciones favorables para su desarrollo, debido a que se dispuso de información científica y doctrinal relacionada con los principales aspectos que formaron parte del estudio. Durante la revisión inicial se encontraron investigaciones sobre reconocimiento aéreo, empleo de sensores, detección de minas, procesamiento de información y georreferenciación mediante aeronaves no tripuladas. También se dispuso de doctrina militar que desarrolla el reconocimiento de obstáculos, la reducción y apertura de brechas, la movilidad y el apoyo a la maniobra. Estas fuentes permitieron conocer qué capacidades pueden ofrecer los UAS y, al mismo tiempo, comprender las necesidades que aparecen durante una operación de brechado. La información disponible también aportó elementos para analizar las condiciones y requerimientos que deben considerarse cuando se busca emplear estos sistemas dentro de una operación militar.

Otro aspecto que hizo posible el estudio fue el acceso a las fuentes de información. Además de artículos científicos, investigaciones académicas y manuales doctrinales nacionales y extranjeros, se contó con personal militar que tenía experiencia o conocimientos relacionados con operaciones de ingeniería, aeronaves no tripuladas y planeamiento de operaciones. Su participación permitió recoger información desde la experiencia profesional y conocer aspectos que no siempre aparecen desarrollados con detalle en la literatura. Esto fue especialmente útil para comprender las posibilidades y limitaciones que pueden presentarse en el empleo de los UAS, así como los requerimientos que deberían considerarse para incorporarlos a una operación de apertura de brechas. La información recogida pudo contrastarse con lo encontrado en las fuentes científicas y doctrinales.

En cuanto a los recursos, el estudio no requirió fabricar una aeronave no tripulada ni adquirir sensores o equipos especializados. Tampoco se planteó realizar pruebas sobre campos minados reales o comprobar experimentalmente el funcionamiento de una determinada tecnología. El interés de la investigación estuvo en comprender el problema y,

sobre esa base, formular una propuesta conceptual. Por esta razón, los recursos necesarios estuvieron relacionados principalmente con el acceso a documentos, la participación de los especialistas, la aplicación de los instrumentos y el posterior análisis de la información. Fueron actividades que pudieron realizarse con los medios disponibles para el desarrollo del trabajo académico.

El tiempo previsto también guardó relación con el alcance de la investigación. Las principales actividades estuvieron orientadas a revisar y analizar información, aplicar los instrumentos de recolección de datos y contrastar los hallazgos obtenidos durante el estudio. Al no haberse contemplado la fabricación de equipos ni la realización de pruebas experimentales en condiciones reales de combate, el trabajo pudo desarrollarse dentro del periodo establecido para la investigación. Esto permitió concentrar el esfuerzo en conocer las capacidades de las aeronaves no tripuladas, comprender cómo se desarrollan las operaciones de apertura de brechas y analizar los requerimientos que deben considerarse para su empleo.

CAPITULO II: ESTUDIO DEL ARTE

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Antecedentes Nacionales

Revilla (2025) desarrolló una investigación sobre el empleo de drones en las capacidades militares de la Fuerza Terrestre del Perú durante el periodo 2024–2025. El trabajo estuvo orientado a conocer las posibilidades que ofrecen estos medios dentro del ámbito militar y su relación con las capacidades que requiere una fuerza terrestre para desarrollar sus operaciones. Para ello, el estudio tomó como referencia el contexto de la Fuerza Terrestre peruana y centró su atención en las distintas formas en que los drones pueden ser aprovechados para apoyar las actividades operacionales. A partir del análisis realizado, se reconoció que estas aeronaves vienen adquiriendo mayor importancia por las posibilidades que ofrecen para observar el terreno, obtener información y apoyar diferentes tareas sin exponer de manera inmediata al personal. Este antecedente resulta pertinente para la presente investigación porque permite contar con una referencia nacional reciente sobre el empleo de drones como parte de las capacidades militares. A partir de ello, se pueden analizar con mayor claridad aquellas capacidades que podrían ser aprovechadas durante el reconocimiento y la apertura de brechas en campos minados.

Fernández (2024) estudió el empleo de vehículos aéreos no tripulados en las operaciones de reconocimiento de las patrullas de combate realizadas en Pichari Baja durante el año 2022. Su investigación buscó conocer de qué manera estos medios podían apoyar las tareas de reconocimiento que desarrollan las patrullas antes y durante el cumplimiento de sus misiones. El estudio se situó en Pichari Baja y tomó como objeto de análisis el empleo de los UAV en un escenario donde el conocimiento previo del terreno y de las posibles amenazas resulta importante para la actuación de las unidades. El trabajo permitió apreciar las posibilidades que ofrecen estas aeronaves para observar sectores de interés y obtener información sin depender únicamente del reconocimiento realizado

directamente por el personal sobre el terreno. Su aporte a la presente investigación se encuentra precisamente en esta capacidad de reconocimiento, debido a que antes de ejecutar una apertura de brecha también se requiere conocer las características del terreno, identificar el obstáculo y obtener información que ayude a decidir dónde y cómo intervenir.

Cruz (2024) abordó el empleo de drones dentro del sistema de inteligencia, vigilancia y reconocimiento para las acciones militares desarrolladas en el Comando Especial VRAEM durante el año 2021. El estudio buscó analizar el aporte que podían brindar estos medios a las actividades destinadas a obtener información de interés para las operaciones. Para ello, la investigación se desarrolló tomando como contexto las acciones militares realizadas en el VRAEM y centró su análisis en el empleo de drones dentro de las actividades de inteligencia, vigilancia y reconocimiento. El trabajo permitió identificar la utilidad de estas plataformas para ampliar la observación de zonas de interés y facilitar la obtención de información sobre el terreno donde se desarrollan las operaciones. Este antecedente guarda relación con la presente investigación porque muestra una experiencia nacional en la que el dron funciona como un medio que ayuda a conocer lo que ocurre en un área antes de exponer directamente al personal. Esta posibilidad puede ser aprovechada en campos minados, donde disponer de información previa sobre el obstáculo y las posibles amenazas puede contribuir al planeamiento de una apertura de brecha.

Malaspina y Rebaza (2025) estudiaron el impacto de los drones comerciales en las operaciones militares del Perú durante el año 2023. Su investigación buscó conocer las posibilidades que ofrecen estas plataformas cuando son empleadas para responder a necesidades propias de las operaciones militares. El estudio tomó como referencia el contexto militar peruano y analizó el aprovechamiento de capacidades que inicialmente fueron desarrolladas para el ámbito comercial, pero que pueden tener utilidad en determinadas tareas operacionales. Los autores encontraron que el uso de este tipo de aeronaves abre nuevas posibilidades para obtener información desde el aire y apoyar diferentes actividades sin necesidad de recurrir siempre a plataformas militares de mayor costo o complejidad. Este antecedente resulta pertinente porque permite entender que la utilidad de un dron no depende

solamente de su origen o clasificación, sino de las capacidades que puede aportar frente a una necesidad concreta. Esta idea resulta de interés para la investigación, ya que permite analizar qué capacidades disponibles en diferentes tipos de UAV podrían aprovecharse durante el reconocimiento y apoyo a las operaciones de apertura de brechas.

Bendezú (2021) desarrolló una investigación sobre el desminado humanitario realizado en la Cordillera del Cóndor entre los años 2015 y 2019, prestando especial atención al papel cumplido por el Ejército del Perú frente a los compromisos asumidos por el país en la Convención de Ottawa. El estudio buscó comprender la participación del Ejército en las actividades desarrolladas para atender la presencia de minas en esta zona y las responsabilidades asumidas durante este proceso. A diferencia de los antecedentes anteriores, el trabajo no se centró en el empleo de drones, sino en una experiencia peruana relacionada directamente con áreas contaminadas por minas. Su análisis permitió mostrar la participación del Ejército en las tareas de desminado y las condiciones que acompañaron el desarrollo de estas actividades. La investigación resulta pertinente porque acerca el estudio a una realidad nacional vinculada con la presencia de minas y con la actuación del personal militar frente a este tipo de amenaza. Si bien el desminado humanitario tiene una finalidad diferente a la apertura de brechas durante una maniobra, ambas actividades comparten la necesidad de reconocer el terreno, identificar las amenazas y reducir los riesgos para el personal que debe intervenir en el área.

2.1.2 Antecedentes Internacionales

Barnawi et al. (2023) desarrollaron un estudio orientado al empleo de aeronaves no tripuladas dentro de sistemas inteligentes para la detección de minas terrestres. La investigación buscó mejorar la forma en que un UAV recorre un área que podría encontrarse contaminada, prestando atención a la planificación de su trayectoria y a la división del terreno en sectores que pudieran ser reconocidos de manera ordenada. Para ello, los autores trabajaron sobre un sistema de detección de minas en el que la aeronave debía cubrir diferentes zonas siguiendo recorridos previamente organizados. El estudio mostró que la planificación de las rutas y la segmentación del área permiten organizar mejor el recorrido del

UAV durante la búsqueda de minas. Este antecedente resulta pertinente porque una operación de apertura de brechas requiere conocer previamente el obstáculo y el sector donde se pretende actuar. En ese sentido, la posibilidad de organizar el reconocimiento aéreo de un campo minado puede aportar información útil para conocer mejor el terreno y apoyar posteriormente la selección de un sector para la apertura de la brecha.

García-Fernández et al. (2023) estudiaron el empleo de un radar de penetración terrestre de apertura sintética instalado en una aeronave no tripulada para mejorar la detección de amenazas enterradas. El trabajo buscó comprobar las posibilidades que ofrece la combinación entre un UAV y este tipo de radar para reconocer objetos que no pueden observarse directamente desde la superficie. Para ello, los autores trabajaron con un sistema de radar transportado por una plataforma aérea y analizaron la información obtenida durante la búsqueda de amenazas enterradas. Los resultados mostraron que la combinación de ambas tecnologías ofrece posibilidades para identificar objetos bajo el terreno manteniendo cierta distancia entre el área de riesgo y las personas encargadas del reconocimiento. Este estudio resulta pertinente porque demuestra que las capacidades de los UAV no se limitan a la observación mediante cámaras. La posibilidad de incorporar sensores capaces de obtener información sobre elementos enterrados puede tener utilidad durante el reconocimiento de un campo minado, principalmente antes del ingreso de los elementos encargados de realizar la reducción del obstáculo.

Kuru et al. (2024) desarrollaron un estudio sobre la detección automatizada de minas terrestres, artefactos explosivos improvisados y municiones sin explotar mediante un sistema denominado Maggy. Los autores buscaron desarrollar una forma rápida y segura de reconocer este tipo de amenazas, procurando reducir la exposición de las personas encargadas de realizar la búsqueda. Para ello, integraron una plataforma no tripulada con diferentes recursos de detección y procesamiento de información, de manera que la búsqueda no dependiera únicamente de un sensor o de la presencia directa del operador sobre el terreno. Los resultados mostraron las posibilidades que ofrece la integración de estos componentes para localizar amenazas explosivas y mantener al personal alejado inicialmente

de las zonas de mayor riesgo. Este antecedente resulta especialmente pertinente porque permite entender al UAV como parte de un sistema formado por la aeronave, los sensores y el procesamiento de la información. Esta mirada resulta útil para la presente investigación, donde interesa determinar cómo las capacidades de estas aeronaves podrían integrarse a las actividades de reconocimiento y apoyo que forman parte de una operación de apertura de brechas.

Popov et al. (2024) desarrollaron una propuesta de plataforma geoinformática destinada a detectar y elaborar mapas de minas terrestres y otros objetos explosivos mediante aeronaves no tripuladas. El trabajo buscó que la información recogida durante el reconocimiento aéreo no quedara solamente en la identificación de una posible amenaza, sino que pudiera ser ubicada y representada sobre el terreno. Para ello, los autores plantearon la integración de la información obtenida por UAV dentro de una plataforma que permitiera organizar y representar geográficamente los objetos detectados. El estudio mostró las posibilidades de emplear esta información para construir una representación de la distribución de amenazas dentro de un área determinada. Este antecedente resulta pertinente porque durante una operación de apertura de brechas no basta con saber que existen minas; también es importante conocer dónde se encuentran y cómo se distribuye el obstáculo. La posibilidad de contar con información georreferenciada puede apoyar el reconocimiento del campo minado y brindar mayores elementos para el planeamiento y la elección del sector donde podría ejecutarse una brecha.

Forero et al. (2025) estudiaron la detección de minas antipersona mediante imágenes termográficas obtenidas desde un dron y procesadas con técnicas de aprendizaje automático. La investigación buscó determinar si las diferencias registradas en las imágenes térmicas podían utilizarse para reconocer la presencia de minas sin necesidad de realizar inicialmente una búsqueda directa sobre el terreno. Para ello, los autores trabajaron con imágenes termográficas captadas desde una plataforma aérea y aplicaron técnicas de procesamiento orientadas a distinguir señales relacionadas con la presencia de estos artefactos. Los resultados mostraron que la combinación entre drones, termografía y procesamiento

automatizado presenta posibilidades para apoyar la identificación de minas desde el aire. Este antecedente resulta pertinente porque aporta evidencia sobre una forma distinta de emplear UAV para reconocer amenazas presentes en un campo minado. Además, al tratarse de una experiencia desarrollada en el contexto latinoamericano, permite contar con un referente regional cercano a la realidad que aborda la investigación y aporta elementos para analizar el uso de sensores como parte de las capacidades que podrían apoyar una operación de apertura de brechas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Teoría de la conciencia situacional

La teoría de la conciencia situacional desarrollada por Endsley permite explicar cómo una persona llega a entender lo que ocurre a su alrededor cuando debe actuar en un ambiente que cambia constantemente. Endsley y Garland (2000) sostienen que este proceso se desarrolla en tres niveles relacionados entre sí: percepción, comprensión y proyección. El primero consiste en reconocer los elementos que están presentes en el entorno; el segundo permite interpretar esa información y entender lo que significa; mientras que el tercero ayuda a anticipar lo que podría ocurrir a partir de la situación observada.

Esta teoría resulta útil en operaciones militares porque las decisiones dependen en buena medida de la información disponible sobre el terreno, las amenazas y las acciones que desarrolla la propia fuerza. No basta con recibir una gran cantidad de datos. Lo importante es que estos permitan formar una idea clara de lo que está ocurriendo y ayuden a prever cómo puede cambiar la situación.

Esta idea guarda relación con el empleo de aeronaves no tripuladas, debido a que estos sistemas permiten ampliar la observación de zonas donde el acceso puede ser difícil o peligroso. Fernández (2024) encontró que el empleo de vehículos aéreos no tripulados puede apoyar las operaciones de reconocimiento realizadas por patrullas de combate, principalmente por la posibilidad de obtener información sobre sectores de interés antes de ingresar directamente a ellos.

En campos minados, esta capacidad adquiere un valor particular porque parte de las amenazas puede permanecer oculta. Barnawi et al. (2023) mostraron que los UAV pueden recorrer de manera organizada un área para apoyar la búsqueda de minas, lo que permite recoger información de diferentes sectores del terreno. Desde la lógica planteada por Endsley, esta información contribuye inicialmente a percibir aquello que existe en el área.

Sin embargo, conocer que existe una posible amenaza no es suficiente. También es necesario comprender dónde se encuentra, cómo se distribuye y qué efecto podría tener sobre la operación. Popov et al. (2024) plantearon el empleo de UAV junto con herramientas geoinformáticas para detectar y representar espacialmente minas y otros objetos explosivos. Esta posibilidad permite organizar mejor la información obtenida y facilita una lectura más completa del terreno.

Para la presente investigación, la teoría de la conciencia situacional ayuda a comprender el aporte que pueden tener las aeronaves no tripuladas durante una apertura de brecha. Su valor no se encuentra solamente en observar el campo minado, sino en proporcionar información que permita reconocer amenazas, comprender mejor el obstáculo y anticipar las condiciones que podrían afectar la movilidad y la maniobra.

2.2.2 Teoría de los accidentes normales

La teoría de los accidentes normales propuesta por Perrow parte de una idea sencilla: existen sistemas donde diferentes personas, equipos y procedimientos dependen tanto unos de otros que una falla aparentemente pequeña puede terminar generando consecuencias mayores. Perrow (1999) explica este problema mediante dos características principales: las interacciones complejas y el acoplamiento. Las primeras aparecen cuando no siempre resulta fácil anticipar cómo se relacionarán los distintos componentes del sistema, mientras que el acoplamiento muestra qué tan rápido una alteración en uno de ellos puede afectar a los demás.

Esta mirada resulta pertinente para las operaciones militares porque normalmente no interviene un solo elemento. Una actividad depende del personal, los medios disponibles, la información, el terreno, las comunicaciones y las decisiones que se toman durante la

operación. Cuando alguno de estos componentes presenta dificultades, sus efectos pueden alcanzar otras actividades que dependen de él.

Una apertura de brecha en un campo minado permite observar con claridad esta relación. El reconocimiento del obstáculo, la ubicación de las amenazas, la intervención de los ingenieros y el movimiento posterior de la fuerza forman parte de una misma secuencia. Si la información sobre el campo minado resulta incompleta o llega demasiado tarde, la forma de intervenir sobre el obstáculo también puede verse afectada.

Fardoulis y Depreytere (2020) advirtieron que muchas propuestas tecnológicas para detectar minas mediante sistemas no tripulados deben probarse frente a condiciones reales de campo y no únicamente en ambientes controlados. Este planteamiento resulta importante porque muestra que el funcionamiento de una tecnología depende también de las condiciones en las que será utilizada.

Baur et al. (2024) encontraron, por ejemplo, que la cobertura vegetal puede afectar la detección de objetos mediante UAV dentro de un ambiente de campo minado. Esto permite observar que el desempeño del sistema no depende solamente del sensor o de la aeronave, sino también de factores externos que pueden modificar sus resultados.

En esta investigación, la teoría de Perrow permite analizar la incorporación del UAS como parte de un conjunto de medios y actividades que se encuentran relacionados. La aeronave no tripulada no actuaría de manera aislada, sino dentro de una operación donde la información que obtiene debe integrarse con el reconocimiento, la reducción del obstáculo y el movimiento de la fuerza.

2.2.3 Modelo del queso suizo para la gestión del riesgo

El modelo del queso suizo desarrollado por Reason ayuda a comprender por qué la seguridad no debería depender de una sola medida de protección. Reason (2000) explica que en una organización existen diferentes barreras destinadas a evitar que un peligro termine provocando un accidente. Sin embargo, estas barreras pueden presentar debilidades. El problema aparece cuando varias de ellas fallan al mismo tiempo y permiten que el riesgo avance hasta producir una consecuencia no deseada.

Reason (2016) diferencia además las fallas activas de las condiciones latentes. Las primeras se encuentran relacionadas con acciones que producen efectos de manera inmediata, mientras que las segundas pueden permanecer dentro de la organización durante bastante tiempo sin hacerse evidentes. Esta diferencia permite entender que un accidente no siempre surge por una sola equivocación, sino que puede ser consecuencia de varias condiciones que se van acumulando.

Este planteamiento tiene relación con las operaciones desarrolladas en campos minados, donde la seguridad depende de diferentes medidas aplicadas antes y durante la intervención. El reconocimiento, la información disponible, los procedimientos empleados y los medios de protección forman parte de esas barreras. Ninguna de ellas debería considerarse suficiente por sí sola.

Kuru et al. (2024) estudiaron un sistema basado en drones para detectar minas, artefactos explosivos improvisados y municiones sin explotar, buscando realizar estas actividades de una manera más rápida y segura. El empleo de una plataforma no tripulada permite obtener información manteniendo inicialmente cierta distancia entre el operador y el área donde puede encontrarse la amenaza.

García-Fernández et al. (2023) mostraron otra posibilidad mediante el empleo de un radar de penetración terrestre instalado en un UAV para detectar amenazas enterradas. Este tipo de capacidad puede añadir información antes de que el personal tenga que aproximarse directamente al sector que será reconocido.

Desde el modelo de Reason, el UAV puede entenderse como un medio adicional dentro de las medidas empleadas para disminuir la exposición al riesgo. No elimina por sí mismo el peligro que representa un campo minado ni reemplaza los procedimientos de seguridad. Su aporte se encuentra en agregar una posibilidad de reconocimiento y detección que puede complementar las demás barreras utilizadas durante la operación.

2.2.4 Enfoque de las organizaciones de alta confiabilidad

El enfoque desarrollado por Weick y Sutcliffe busca explicar cómo algunas organizaciones consiguen trabajar en ambientes peligrosos sin perder de vista aquellos

detalles que pueden convertirse en un problema. Weick y Sutcliffe (2007) señalan que estas organizaciones mantienen una atención constante sobre lo que ocurre durante sus actividades y evitan asumir que una situación seguirá desarrollándose exactamente como fue prevista. Los autores plantean cinco principios que ayudan a entender esta forma de actuar: preocupación por las fallas, resistencia a simplificar las interpretaciones, sensibilidad frente a las operaciones, compromiso con la resiliencia y respeto por la experiencia. Estos principios tienen algo en común: mantener una lectura cercana de la situación y reaccionar cuando aparecen señales que muestran que las condiciones están cambiando.

Esta idea resulta pertinente para las operaciones realizadas en campos minados. El terreno, la vegetación, la ubicación de las amenazas y las condiciones durante el reconocimiento pueden cambiar la manera en que se desarrolla la operación. Por ello, trabajar únicamente sobre una idea inicial del obstáculo puede resultar insuficiente cuando comienzan a aparecer nuevos datos. En ese sentido, Baur et al. (2024) mostraron que la vegetación puede afectar la capacidad de detectar objetos mediante UAV en ambientes de campos minados. Este hallazgo permite observar cómo una condición del terreno puede cambiar los resultados obtenidos y obliga a interpretar la información considerando aquello que realmente ocurre en el área.

Barnawi et al. (2023) mostraron, por su parte, que la trayectoria de un UAV puede organizarse para recorrer diferentes sectores durante la búsqueda de minas. Esta capacidad permite ampliar la información disponible sobre el terreno a medida que avanza el reconocimiento. A su vez, Popov et al. (2024) plantearon que la información obtenida mediante UAV puede integrarse en una plataforma destinada a detectar y representar geográficamente minas y otros objetos explosivos. De esta manera, el conocimiento sobre el área puede actualizarse conforme aparecen nuevos datos.

Para esta investigación, el enfoque de Weick y Sutcliffe permite comprender la importancia de mantener información sobre el campo minado durante el desarrollo de la operación. Las aeronaves no tripuladas pueden contribuir a esta necesidad mediante observación, reconocimiento y actualización de información, especialmente cuando las

condiciones encontradas no coinciden completamente con aquello que se esperaba antes de iniciar la apertura de la brecha.

2.2.5 Teoría del ajuste entre la tarea y la tecnología

La teoría del ajuste entre la tarea y la tecnología planteada por Goodhue y Thompson permite explicar la relación que debe existir entre una tecnología y las tareas para las cuales será utilizada. Goodhue y Thompson (1995) sostienen que este ajuste se produce cuando las características de una tecnología responden a las necesidades de las tareas que debe realizar una persona. Desde esta perspectiva, no basta con disponer de una tecnología con determinadas funciones, sino que estas deben ser útiles para aquello que realmente se necesita hacer.

Esta teoría resulta pertinente cuando se busca emplear una tecnología en actividades que presentan necesidades particulares. Una misma herramienta puede ser útil para determinadas tareas y tener mayores limitaciones frente a otras. Por ello, además de conocer lo que una tecnología puede hacer, es necesario comprender las exigencias de las actividades donde se pretende utilizar.

Esta idea guarda relación con el empleo de aeronaves no tripuladas, debido a que estos sistemas pueden disponer de capacidades para realizar reconocimiento, emplear sensores, detectar determinadas amenazas, procesar información o representar datos geográficamente. Sin embargo, contar con estas capacidades no significa que todas respondan de la misma manera a una necesidad operacional. Su utilidad dependerá de las tareas que se busca apoyar y de las condiciones en las que estas se desarrollan.

En una apertura de brecha, esta relación adquiere importancia porque durante la operación se realizan diferentes actividades vinculadas con el reconocimiento del obstáculo, la ubicación de amenazas, la reducción y apertura de la brecha, la protección de la fuerza, la movilidad y el apoyo a la maniobra. Desde lo planteado por Goodhue y Thompson (1995), las características de la tecnología deben guardar relación con las necesidades de las tareas que se pretende apoyar. Esto permite analizar si las capacidades que ofrece un UAS responden a lo que realmente se requiere durante el brechado.

Para la presente investigación, la teoría del ajuste entre la tarea y la tecnología permite relacionar las capacidades de las aeronaves no tripuladas con las tareas que se desarrollan durante una apertura de brecha. Su aporte ayuda a analizar los requerimientos que deberían considerarse para que las características del UAS respondan a las necesidades de la operación y a las condiciones en las que se desarrolla el brechado.

2.2.6 Teoría sociotécnica

La teoría sociotécnica fue planteada inicialmente por Trist y Bamforth (1951, como se citó en Abbas & Michael, 2025) a partir de los estudios desarrollados en el Tavistock Institute de Londres. Esta teoría permite comprender un sistema de trabajo considerando la relación que existe entre sus componentes sociales y técnicos. Abbas y Michael (2025) explican que ambos forman parte de un mismo sistema y que su funcionamiento debe buscar una optimización conjunta, en lugar de considerar a las personas y a la tecnología como elementos separados.

Esta teoría resulta útil cuando una tecnología se incorpora a un entorno donde también intervienen personas y formas de organizar el trabajo. Desde esta mirada, disponer de un equipo con determinadas capacidades no garantiza por sí solo que el sistema funcione adecuadamente. También es necesario considerar a quienes utilizan la tecnología, las actividades que realizan y la manera en que estos elementos se relacionan durante el trabajo.

Esta idea guarda relación con el empleo de aeronaves no tripuladas en operaciones militares, debido a que un UAS no actúa de manera aislada. La aeronave puede disponer de sensores, sistemas de comunicación y medios para obtener o procesar información, pero necesita personal que la opere y otros elementos que empleen la información obtenida. Por ello, sus capacidades técnicas deben relacionarse con las personas y con las actividades que forman parte de la operación.

En una apertura de brecha, esta relación adquiere importancia porque participan diferentes personas, medios y actividades que deben actuar de manera coordinada. El personal de ingeniería, los operadores del UAS y los demás elementos que intervienen en el reconocimiento, la reducción del obstáculo, la seguridad y el movimiento de la fuerza forman

parte de una misma operación. Desde la teoría sociotécnica, incorporar una aeronave no tripulada implica considerar cómo sus capacidades pueden trabajar junto con estos elementos y no solamente qué puede hacer la tecnología por sí sola.

Para la presente investigación, la teoría sociotécnica permite analizar el empleo de aeronaves no tripuladas considerando la relación entre la tecnología, las personas y la forma en que se desarrolla el trabajo durante una apertura de brecha. Su aporte ayuda a comprender los requerimientos que deberían considerarse para que las capacidades del UAS puedan incorporarse a la operación y funcionar de manera conjunta con el personal y los demás elementos que participan en ella.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Capacidades de las aeronaves no tripuladas

Las capacidades de las aeronaves no tripuladas comprenden las posibilidades que ofrecen estos sistemas para cumplir diferentes tareas dentro de una operación. Su empleo no depende únicamente de las características de la aeronave, sino también de los sensores que puede transportar, la información que recoge y las condiciones en las que debe operar. Revilla (2025) mostró que los drones vienen adquiriendo importancia dentro de las capacidades militares de la Fuerza Terrestre del Perú debido a las posibilidades que ofrecen para apoyar distintas actividades operacionales. En campos minados, estas capacidades cobran especial interés porque permiten aproximarse a sectores donde la presencia de amenazas dificulta el reconocimiento directo. Kuru et al. (2024) mostraron que una plataforma no tripulada puede combinar diferentes medios de detección y procesamiento para buscar minas y otros objetos explosivos. Desde esta perspectiva, las capacidades UAS se entienden en esta investigación a partir del reconocimiento y vigilancia, los sensores disponibles, la detección de amenazas, el procesamiento de información y la georreferenciación y mapeo.

2.3.1.1 Reconocimiento y vigilancia. El reconocimiento y la vigilancia permiten observar una zona de interés y obtener información sobre las condiciones que presenta el terreno antes y durante una operación. Esta posibilidad resulta especialmente útil cuando el ingreso directo del personal puede representar un riesgo. Fernández (2024) estudió el empleo

de vehículos aéreos no tripulados durante las operaciones de reconocimiento de patrullas de combate y mostró las posibilidades que ofrecen para ampliar la observación de los sectores donde actúan las unidades. Cruz (2024) también analizó el empleo de drones dentro de actividades de inteligencia, vigilancia y reconocimiento, encontrando utilidad en la obtención de información sobre las áreas donde se desarrollan las operaciones. En campos minados, el reconocimiento mediante UAV puede realizarse siguiendo recorridos previamente organizados. Barnawi et al. (2023) mostraron que la trayectoria de la aeronave puede planificarse para cubrir diferentes sectores durante la búsqueda de minas. Por ello, esta subcategoría comprende la capacidad de observar, explorar y mantener vigilancia sobre un área para obtener información útil sin depender solamente del reconocimiento realizado directamente sobre el terreno.

2.3.1.2 Sensores y sistemas de detección. Los sensores amplían las posibilidades de una aeronave no tripulada porque permiten recoger información que no siempre puede obtenerse mediante una cámara convencional. Su importancia resulta evidente en campos minados, donde las amenazas pueden encontrarse enterradas, ocultas por la vegetación o presentar pocas señales visibles desde el aire. García-Fernández et al. (2023) estudiaron un radar de penetración terrestre instalado en un UAV y mostraron sus posibilidades para reconocer amenazas enterradas. Lee y Lee (2024) analizaron otra alternativa mediante un magnetómetro transportado por UAV, capaz de registrar anomalías magnéticas relacionadas con minas terrestres. Forero et al. (2025) abordaron el problema desde la termografía, utilizando imágenes térmicas obtenidas desde drones para apoyar la detección de minas antipersona. Estas investigaciones muestran que no existe un único sensor adecuado para todas las situaciones. Cada tecnología recoge información diferente y responde a determinadas características de la amenaza y del terreno. Por ello, esta subcategoría comprende los sensores y sistemas que pueden incorporarse al UAS para ampliar su capacidad de búsqueda en un campo minado.

2.3.1.3 Detección e identificación de amenazas. La detección e identificación de amenazas se relaciona con la posibilidad de utilizar la información recogida por los sensores

para reconocer indicios de minas u otros objetos explosivos. No debe confundirse con la capacidad sensorial, ya que disponer de un sensor constituye el medio, mientras que detectar e identificar una amenaza representa el resultado que se busca obtener mediante su empleo. Kuru et al. (2024) desarrollaron un sistema que integra una plataforma no tripulada con diferentes recursos destinados a detectar minas, artefactos explosivos improvisados y municiones sin explotar. García-Fernández et al. (2023) mostraron que la información obtenida mediante radar puede contribuir a reconocer objetos enterrados que no serían visibles mediante una observación convencional. Forero et al. (2025) también encontraron posibilidades de identificación a partir del análisis de imágenes térmicas recogidas desde drones. En esta investigación, la detección e identificación comprende la capacidad de localizar indicios, distinguir posibles amenazas y aportar información sobre su presencia dentro del sector reconocido, sin asumir que un único método pueda identificar todas las minas en cualquier condición del terreno.

2.3.1.4 Procesamiento y análisis de información. Los datos obtenidos por una aeronave no tripulada necesitan ser procesados antes de convertirse en información útil para una operación. Una lectura magnética, una imagen térmica o una señal obtenida mediante radar no explica por sí sola lo que existe en el terreno. Kuru et al. (2024) mostraron esta necesidad al integrar distintos recursos de detección con mecanismos destinados a procesar la información recogida y reconocer posibles amenazas explosivas. Forero et al. (2025) emplearon técnicas de aprendizaje automático para analizar imágenes termográficas captadas desde un dron y distinguir señales relacionadas con la presencia de minas. Esto permite apreciar que la capacidad del UAS no termina con la captura del dato, sino que también depende de la forma en que este es interpretado. Esta idea guarda relación con la conciencia situacional desarrollada por Endsley y Garland (2000), donde percibir información constituye solo un primer nivel y resulta necesario comprender su significado. En este estudio, el procesamiento y análisis comprende la transformación de los datos obtenidos durante el vuelo en información que pueda ser interpretada y utilizada.

2.3.1.5 Georreferenciación y mapeo. La georreferenciación permite relacionar la información obtenida durante el reconocimiento con una ubicación concreta del terreno. En un campo minado esto resulta importante porque no basta con conocer que existe una posible amenaza; también interesa saber dónde podría encontrarse y cómo se distribuye respecto al área que necesita ser atravesada. Popov et al. (2024) desarrollaron una propuesta de plataforma geoinformática destinada a detectar y elaborar mapas de minas y otros objetos explosivos mediante información obtenida con UAV. Su propuesta muestra que los datos recogidos durante el vuelo pueden organizarse espacialmente y presentarse de una manera que facilite la lectura del área reconocida. Barnawi et al. (2023) también relacionan la búsqueda de minas con la división del terreno y la planificación de recorridos que permitan cubrir diferentes sectores. De esta manera, la georreferenciación y el mapeo permiten pasar de una detección aislada a una representación más ordenada del área. En esta investigación comprenden la ubicación, organización y representación espacial de la información relacionada con el terreno y las posibles amenazas detectadas.

2.3.2 Operaciones de apertura de brechas en campos minados

Las operaciones de apertura de brechas en campos minados forman parte de las actividades destinadas a superar obstáculos que limitan el movimiento de una fuerza. Su finalidad no se encuentra solamente en localizar minas, sino en generar las condiciones necesarias para atravesar el obstáculo y continuar la maniobra. La doctrina de ingeniería relaciona estas operaciones con la movilidad y con las acciones destinadas a disminuir el efecto que producen los obstáculos sobre la libertad de movimiento. El Department of the Army (2025) desarrolla dentro de estas actividades el reconocimiento de obstáculos, su reducción y las acciones de brechado necesarias para apoyar el movimiento de la fuerza. En campos minados, estas tareas presentan una dificultad adicional porque la amenaza puede permanecer oculta y la información disponible puede cambiar a medida que avanza la operación. Por esta razón, la categoría comprende el reconocimiento del obstáculo, su reducción y apertura, la seguridad y protección de la fuerza, la movilidad y el apoyo que finalmente proporciona la brecha al desarrollo de la maniobra.

2.3.2.1 Reconocimiento del obstáculo. El reconocimiento del obstáculo permite conocer aquello que puede impedir o dificultar el movimiento antes de iniciar las acciones destinadas a superarlo. En un campo minado no basta con confirmar la presencia de minas, sino que también resulta necesario conocer las características del terreno, la posible distribución de las amenazas y aquellos sectores que pueden influir en la forma de intervenir. El Department of the Army (2016) señala que el reconocimiento de ingeniería permite obtener información sobre el terreno y los obstáculos que afectan las operaciones. Barnawi et al. (2023) mostraron que un UAV puede recorrer de manera organizada diferentes sectores durante la búsqueda de minas, ampliando las posibilidades para reconocer un área sin depender únicamente del desplazamiento terrestre. Popov et al. (2024) agregaron la posibilidad de representar espacialmente las amenazas encontradas durante este reconocimiento. De esta manera, reconocer el obstáculo implica reunir información que permita formar una idea más clara del campo minado antes de intervenir. Esta subcategoría comprende, por tanto, el conocimiento del terreno, las características del obstáculo y la posible ubicación y distribución de las amenazas.

2.3.2.2 Reducción del obstáculo y apertura de la brecha. La reducción del obstáculo y la apertura de la brecha comprenden las acciones destinadas a disminuir el efecto que produce el campo minado y generar un paso que pueda ser utilizado por la fuerza. Esta actividad permite diferenciar claramente el brechado de la simple detección de minas. Conocer dónde existe una amenaza proporciona información necesaria, pero la finalidad operacional consiste en superar el obstáculo. El Department of the Army (2025) relaciona la reducción de obstáculos y las operaciones de brechado con las tareas destinadas a mantener la movilidad de la fuerza. Durante esta actividad, el conocimiento obtenido previamente puede ayudar a orientar la intervención y a comprender mejor el sector donde debe generarse el paso. Kuru et al. (2025) mostraron que actualmente también se exploran posibilidades para emplear drones adaptados en actividades relacionadas con la detección y eliminación de dispositivos explosivos. Sin embargo, estas experiencias no permiten asumir que el UAS sustituya los medios de brechado. En esta investigación, la subcategoría comprende las

acciones desarrolladas sobre el campo minado para reducir su efecto y habilitar una brecha utilizable.

2.3.2.3 Seguridad y protección de la fuerza. La seguridad y protección de la fuerza adquieren especial importancia durante una apertura de brecha porque el personal y los medios deben actuar en un espacio donde pueden permanecer amenazas sin detectar. Bendezú (2021), al estudiar el desminado humanitario realizado en la Cordillera del Cóndor, mostró una experiencia peruana relacionada con la intervención militar en áreas contaminadas por minas. Aunque el desminado humanitario tiene una finalidad distinta, permite comprender las condiciones de riesgo que acompañan el trabajo en este tipo de terrenos. Kuru et al. (2024) mostraron que los sistemas no tripulados pueden apoyar la búsqueda de amenazas manteniendo inicialmente al operador alejado del área peligrosa. Esta posibilidad guarda relación con el planteamiento de Reason (2016), quien explica que la seguridad depende de diferentes barreras y que ninguna medida debería considerarse suficiente por sí sola. Desde esta perspectiva, el UAS puede añadir una capacidad de reconocimiento remoto, pero no elimina el riesgo existente. Esta subcategoría comprende las medidas, medios y procedimientos destinados a disminuir la exposición y proteger al personal durante la operación.

2.3.2.4 Movilidad. La movilidad constituye una de las razones principales por las que se ejecuta una apertura de brecha. Cuando un campo minado impide o dificulta el desplazamiento, la fuerza necesita reducir sus efectos para continuar avanzando. El Department of the Army (2025) explica que las operaciones de movilidad buscan mitigar los efectos de los obstáculos naturales y artificiales para mantener la libertad de movimiento. Desde esta perspectiva, abrir una brecha no constituye una actividad aislada, sino una acción que responde a una necesidad concreta de la operación. El reconocimiento permite conocer el obstáculo y la reducción busca generar las condiciones para atravesarlo, pero el resultado esperado es que los elementos puedan recuperar o mantener su capacidad de movimiento. Revilla (2025) mostró, desde el contexto peruano, que los drones pueden aportar diferentes capacidades a las operaciones de la Fuerza Terrestre, especialmente cuando su empleo

responde a una necesidad operacional concreta. En esta investigación, la movilidad comprende la capacidad de la fuerza para superar el campo minado y continuar su desplazamiento una vez disminuido el efecto del obstáculo.

2.3.2.5 Apoyo a la maniobra. El apoyo a la maniobra permite ubicar la apertura de brechas dentro de una finalidad operacional más amplia. Generar un paso a través de un campo minado no constituye el objetivo final, debido a que la brecha debe servir para que la fuerza continúe desarrollando la acción prevista. El Department of the Army (2025) relaciona las actividades de ingeniería con la libertad de movimiento que necesitan las fuerzas para ejecutar sus operaciones. En ese sentido, la apertura de la brecha adquiere valor cuando facilita el movimiento de los elementos que participan en la maniobra y permite mantener su continuidad. Fernández (2024) mostró que las aeronaves no tripuladas pueden aportar información durante las actividades de reconocimiento de unidades de combate, lo que permite apreciar su posible utilidad como apoyo a fuerzas que necesitan conocer mejor el terreno donde actuarán. Popov et al. (2024) mostraron además que la información obtenida mediante UAV puede organizarse espacialmente para representar amenazas presentes en un área. En esta investigación, el apoyo a la maniobra comprende la contribución de la apertura de brechas a la continuidad del movimiento y al cumplimiento de la acción operacional prevista.

2.3.3 Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas

Los requerimientos para el empleo de aeronaves no tripuladas comprenden aquellos aspectos que deben considerarse para que las capacidades de estos sistemas puedan ser utilizadas durante una apertura de brecha. No basta con conocer lo que puede hacer un UAS, también es necesario determinar si sus características responden a las tareas que se pretende apoyar y qué condiciones se necesitan para incorporarlo a la operación. Goodhue y Thompson (1995) sostienen que una tecnología alcanza un mejor ajuste cuando sus características responden a las necesidades de las tareas para las cuales será utilizada. Desde otra perspectiva, Abbas y Michael (2025), al explicar la teoría sociotécnica, señalan que los componentes técnicos y sociales forman parte de un mismo sistema y deben

funcionar de manera conjunta. A partir de estos planteamientos, esta categoría comprende los requerimientos tecnológicos, de la tarea, de información y comunicaciones, de personal y organizacionales que deben considerarse para el empleo de UAS durante una apertura de brecha.

2.3.3.1 Requerimientos tecnológicos. Los requerimientos tecnológicos se relacionan con las características que debe reunir una tecnología para responder a las actividades en las que será empleada. Goodhue y Thompson (1995) explican que el ajuste entre la tarea y la tecnología depende de que las características de esta última permitan atender las necesidades de la actividad que debe realizarse. Esto implica que disponer de una aeronave no tripulada no resulta suficiente por sí mismo, debido a que sus características deben guardar relación con aquello que se espera obtener mediante su empleo. Desde la teoría sociotécnica, Abbas y Michael (2025) también permiten entender que el componente técnico forma parte de un sistema más amplio y no funciona de manera independiente. En una apertura de brecha, este requerimiento supone considerar si las características del UAS permiten apoyar las actividades para las cuales se pretende utilizar y si pueden relacionarse con los demás elementos que participan en la operación. En esta investigación, los requerimientos tecnológicos comprenden las características que debe reunir el sistema para responder a las necesidades de las tareas que apoyará durante el brechado.

2.3.3.2 Requerimientos de la tarea. Los requerimientos de la tarea permiten identificar qué necesita realmente la actividad antes de determinar cómo puede emplearse una tecnología. Goodhue y Thompson (1995) plantean que las tareas presentan características y necesidades propias, por lo que una tecnología será útil en la medida en que pueda responder a ellas. Esta relación resulta importante en una apertura de brecha porque todas las actividades que se desarrollan no persiguen la misma finalidad. Reconocer el obstáculo, apoyar la ubicación de amenazas o proporcionar información durante el desarrollo de la operación plantean necesidades diferentes. Por ello, el empleo del UAS debe partir de aquello que requiere la tarea y no solamente de las posibilidades que ofrece la aeronave. En esta investigación, los requerimientos de la tarea comprenden las necesidades que presentan

las actividades de brechado y que deben ser consideradas para determinar dónde y de qué manera las capacidades del UAS pueden resultar útiles.

2.3.3.3 Requerimientos de información y comunicaciones. La información constituye un elemento necesario para comprender lo que ocurre durante una operación y utilizar los datos obtenidos para apoyar las decisiones. Endsley y Garland (2000) explican que la conciencia situacional se desarrolla a partir de la percepción de los elementos presentes, la comprensión de su significado y la proyección de lo que podría ocurrir. Esto muestra que obtener datos representa solamente una parte del proceso, ya que también es necesario que la información pueda ser comprendida y utilizada. Perrow (1999), por su parte, permite observar que la información y las comunicaciones forman parte de un conjunto de elementos relacionados, donde una dificultad en uno de ellos puede afectar otras actividades. En una apertura de brecha, la información obtenida por el UAS necesita llegar a quienes la requieren y mantener relación con las actividades que se desarrollan sobre el obstáculo. En esta investigación, los requerimientos de información y comunicaciones comprenden la disponibilidad, transmisión y utilización de la información obtenida mediante el UAS para apoyar las actividades que forman parte de la apertura de brecha.

2.3.3.4 Requerimientos de personal. El empleo de una aeronave no tripulada también depende de las personas que interactúan con el sistema y utilizan la información que este proporciona. Abbas y Michael (2025) explican, desde la teoría sociotécnica, que los componentes sociales y técnicos se encuentran relacionados y que ambos deben ser considerados para lograr un adecuado funcionamiento del sistema. Desde esta mirada, las capacidades de una tecnología no pueden analizarse separadas de las personas que participan en su empleo. En una apertura de brecha, esta relación involucra tanto a quienes operan el UAS como al personal que recibe, interpreta o utiliza la información obtenida durante la operación. Por ello, no basta con disponer del sistema; también se necesita personal que pueda emplearlo y aprovechar sus capacidades de acuerdo con las necesidades de la tarea. En esta investigación, los requerimientos de personal comprenden

las necesidades relacionadas con las personas que intervienen en la operación, utilización y aprovechamiento de las capacidades del UAS durante el brechado.

2.3.3.5 Requerimientos organizacionales. Los requerimientos organizacionales se relacionan con la manera en que las personas, la tecnología y las actividades deben trabajar dentro de un mismo sistema. Abbas y Michael (2025) explican que la teoría sociotécnica busca una optimización conjunta de los componentes sociales y técnicos, evitando considerar a cada uno de manera aislada. Esta idea adquiere importancia cuando diferentes elementos dependen unos de otros para cumplir una actividad. Perrow (1999) señala que en los sistemas donde existen relaciones estrechas entre personas, equipos, procedimientos, información y decisiones, una alteración puede afectar a otros componentes que dependen de ellos. En una apertura de brecha, el UAS debe relacionarse con el personal de ingeniería y con los demás elementos que participan en las actividades de reconocimiento, reducción, seguridad y movimiento de la fuerza. Esto hace necesario establecer cómo se coordina su empleo y de qué manera la información que proporciona se incorpora a las actividades de la operación. En esta investigación, los requerimientos organizacionales comprenden la organización y coordinación necesarias para incorporar el UAS a las actividades de apertura de brechas y relacionar su empleo con los demás elementos que participan en ellas.

2.4 Definición de términos

2.4.1 Aeronave no tripulada (UAV).

Una aeronave no tripulada es un vehículo aéreo que puede realizar el vuelo sin llevar un piloto a bordo y que puede ser controlado de manera remota o desarrollar determinadas funciones de forma automatizada. Fernández (2024) abordó estos medios desde su empleo en operaciones de reconocimiento militar, donde permiten ampliar la observación de sectores de interés sin requerir que el personal ingrese inicialmente al terreno. En esta investigación, el término UAV se emplea específicamente para referirse a la aeronave que sirve como plataforma para transportar cámaras, sensores u otros equipos destinados al reconocimiento y obtención de información sobre campos minados.

2.4.2 Sistema de aeronave no tripulada (UAS).

Un sistema de aeronave no tripulada comprende algo más amplio que la aeronave utilizada para realizar el vuelo. Kuru et al. (2024) presentaron una configuración en la que la plataforma aérea trabaja junto con sensores, mecanismos de procesamiento y otros componentes necesarios para obtener información sobre minas y objetos explosivos. Por ello, hablar de UAS permite considerar de manera conjunta los elementos que hacen posible cumplir una determinada tarea y no solamente el vehículo que se encuentra en el aire. En esta investigación, el término UAS se utiliza cuando se hace referencia al conjunto formado por la aeronave, sus sensores, medios de control, procesamiento y demás componentes necesarios para apoyar una operación de apertura de brechas.

2.4.3 Campo minado.

Un campo minado es un área en la que se han colocado minas con la finalidad de producir un determinado efecto sobre quienes intentan atravesarla. Bendezú (2021) abordó la presencia de campos minados en la Cordillera del Cóndor y mostró las dificultades que presentan estos espacios para realizar actividades de desminado debido al peligro existente y a las condiciones propias del terreno. Desde la perspectiva de esta investigación, el campo minado se entiende como un obstáculo que puede limitar o impedir el movimiento de una fuerza y sobre el cual resulta necesario obtener información antes de realizar una intervención. Su importancia no se encuentra únicamente en la presencia de minas individuales, sino también en el efecto que su distribución puede producir sobre la movilidad y la maniobra.

2.4.4 Mina terrestre.

La mina terrestre constituye la amenaza principal presente dentro del campo minado estudiado en esta investigación. Lee y Lee (2024) explican que determinados componentes metálicos de las minas pueden producir anomalías magnéticas que permiten explorar su detección mediante magnetómetros transportados por UAV. Esto muestra una característica importante para el estudio: una mina puede permanecer oculta o enterrada y, por tanto, no necesariamente puede ser reconocida mediante una observación visual convencional. En

esta investigación, la mina terrestre se entiende como un dispositivo explosivo colocado sobre o debajo del terreno cuya presencia representa un peligro para el personal y los medios, además de formar parte de un obstáculo capaz de afectar el movimiento de una fuerza.

2.4.5 Obstáculo.

Un obstáculo es una condición natural o artificial que puede dificultar, limitar o impedir el movimiento de una fuerza. El Department of the Army (2025) relaciona los obstáculos con las operaciones de movilidad y con las acciones que se realizan para disminuir sus efectos sobre la libertad de movimiento. Desde esta mirada, un campo minado constituye un tipo de obstáculo artificial porque condiciona el desplazamiento y obliga a la fuerza a reconocerlo y adoptar medidas para poder superarlo. Para esta investigación, el término obstáculo se emplea principalmente en relación con los campos minados que interfieren con la movilidad y cuya presencia genera la necesidad de realizar actividades de reconocimiento, reducción y apertura de una brecha.

2.4.6 Brecha.

La brecha representa el paso generado a través de un obstáculo para permitir el movimiento de una fuerza. El Department of the Army (2025) desarrolla el brechado dentro de las actividades relacionadas con la movilidad y la superación de obstáculos durante las operaciones. Por ello, una brecha no debe entenderse simplemente como un espacio vacío dentro de un campo minado, sino como un paso que ha sido generado para responder a una necesidad concreta de movimiento. En esta investigación, la brecha se entiende como el espacio habilitado a través del campo minado que permite el tránsito de los elementos de la fuerza y contribuye a recuperar la movilidad necesaria para continuar con la maniobra.

2.4.7 Apertura de brechas o brechado.

La apertura de brechas comprende las actividades desarrolladas para generar un paso a través de un obstáculo que limita el movimiento. El Department of the Army (2025) vincula estas acciones con las tareas de movilidad y con la necesidad de superar aquellos obstáculos que afectan la libertad de movimiento de una fuerza. En un campo minado, el brechado supone algo más que detectar la presencia de minas, debido a que finalmente debe

permitir atravesar el obstáculo y continuar la operación. Para esta investigación, la apertura de brechas se entiende como el conjunto de acciones de reconocimiento, reducción y habilitación que permiten generar un paso utilizable a través de un campo minado durante el desarrollo de la maniobra.

2.4.8 Reducción de obstáculos.

La reducción de obstáculos se refiere a las acciones realizadas sobre un obstáculo para disminuir el efecto que produce sobre el movimiento. El Department of the Army (2025) considera la reducción como parte de las tareas relacionadas con la movilidad y el brechado, debido a que permite crear las condiciones necesarias para superar aquello que impide o limita el avance. En un campo minado, esta actividad debe distinguirse del reconocimiento y la detección: conocer dónde se encuentra una amenaza aporta información, mientras que reducir el obstáculo implica actuar para disminuir su capacidad de impedir el paso. En esta investigación, la reducción se entiende como una parte de la apertura de brechas orientada a generar las condiciones necesarias para habilitar el movimiento de la fuerza.

2.4.9 Maniobra.

La maniobra se relaciona con el empleo y movimiento de las fuerzas para alcanzar una posición favorable y cumplir una finalidad dentro de la operación. El Department of the Army (2025) vincula las capacidades de ingeniería con la libertad de movimiento que necesitan las unidades para desarrollar sus acciones frente a los efectos del terreno y los obstáculos. Esta relación resulta importante porque una brecha no se abre como una actividad aislada, sino para responder a una necesidad de movimiento dentro de una operación mayor. En esta investigación, la maniobra se entiende como el conjunto de movimientos y acciones de la fuerza a los que la apertura de brechas debe brindar apoyo, permitiendo superar el campo minado y mantener la continuidad de la operación.

2.4.10 Reconocimiento de ingeniería

El reconocimiento de ingeniería permite obtener información sobre el terreno y los obstáculos que pueden afectar el desarrollo de una operación. El Department of the Army (2016) señala que este reconocimiento contribuye a identificar y evaluar las características

de los obstáculos y del terreno para apoyar el planeamiento y las operaciones de movilidad. En esta investigación, el reconocimiento de ingeniería se entiende como la actividad que permite reunir información sobre el campo minado, sus características y las condiciones del terreno antes de realizar acciones destinadas a abrir una brecha.

2.4.11 Movilidad

La movilidad se relaciona con la capacidad de una fuerza para desplazarse y mantener su libertad de movimiento durante una operación. El Department of the Army (2025) explica que las operaciones de movilidad buscan disminuir los efectos que producen los obstáculos naturales y artificiales sobre el movimiento de las fuerzas. En esta investigación, la movilidad se entiende como la capacidad de continuar el desplazamiento una vez que el efecto del campo minado ha sido reducido y se ha generado una brecha que permita apoyar la continuidad de la maniobra.

2.4.12 Sensor

Los sensores amplían las posibilidades de empleo de una aeronave no tripulada porque permiten obtener información que no siempre puede reconocerse mediante una observación visual. García-Fernández et al. (2023) estudiaron el empleo de un radar de penetración terrestre instalado en un UAV y mostraron sus posibilidades para detectar amenazas enterradas. En esta investigación, el sensor se entiende como el medio incorporado a una aeronave no tripulada que permite recoger información del terreno o de posibles amenazas presentes en un campo minado.

2.4.13 Georreferenciación

La georreferenciación permite relacionar la información obtenida durante un reconocimiento con una ubicación determinada del terreno. Popov et al. (2024) plantearon que la información recogida mediante UAV puede organizarse en una plataforma geoinformática para detectar y representar espacialmente minas y otros objetos explosivos. En esta investigación, la georreferenciación se entiende como la ubicación espacial de la información obtenida por las aeronaves no tripuladas, permitiendo reconocer dónde podrían encontrarse las amenazas y cómo se distribuyen dentro del área estudiada.

2.4.14 Conciencia situacional

La conciencia situacional permite comprender lo que ocurre en un entorno a partir de la información disponible y anticipar cómo podría desarrollarse una determinada situación. Endsley y Garland (2000) explican que este proceso comprende tres niveles relacionados: percepción, comprensión y proyección. En esta investigación, la conciencia situacional se entiende como la comprensión que se obtiene del terreno, los obstáculos y las posibles amenazas a partir de la información disponible, de manera que esta pueda apoyar el planeamiento y el desarrollo de una operación de apertura de brechas.

2.4.15 Requerimiento

Un requerimiento representa una necesidad o condición que debe ser considerada para que una tecnología pueda responder a la actividad en la que será empleada. Goodhue y Thompson (1995) explican que el ajuste entre una tarea y una tecnología depende de la relación que existe entre las características de ambas, por lo que disponer de una tecnología no significa necesariamente que esta responda a lo que se necesita realizar. Abbas y Michael (2025), desde la teoría sociotécnica, agregan que el empleo de una tecnología también debe considerar su relación con las personas y con la forma en que se organiza el trabajo. En esta investigación, los requerimientos se entienden como las necesidades y condiciones que deben considerarse para que las capacidades de los UAS puedan emplearse durante una operación de apertura de brechas.

2.4.16 Capacidad

La capacidad se relaciona con aquello que un sistema puede aportar para cumplir una determinada actividad. En el caso de las aeronaves no tripuladas, esta capacidad no depende únicamente de la plataforma aérea, sino también de los elementos que forman parte del sistema y de las funciones que estos permiten desarrollar. Kuru et al. (2024) mostraron esta relación al integrar una plataforma no tripulada con medios de detección y procesamiento de información para apoyar la búsqueda de minas y otros objetos explosivos. En esta investigación, la capacidad se entiende como la posibilidad que ofrece un UAS para apoyar determinadas actividades durante una apertura de brecha, principalmente mediante el

reconocimiento y vigilancia, el empleo de sensores, la detección de amenazas, el procesamiento de información y la georreferenciación y mapeo.

2.4.17 Tarea

Una tarea comprende una actividad que debe realizarse para alcanzar un determinado resultado dentro de un trabajo u operación. Goodhue y Thompson (1995) explican que las tareas presentan características y necesidades propias que deben guardar relación con la tecnología utilizada para desarrollarlas. Desde esta perspectiva, una misma tecnología no necesariamente resulta adecuada para todas las actividades, debido a que su utilidad depende de aquello que se necesita realizar. En esta investigación, la tarea se entiende como una actividad que forma parte de la operación de apertura de brechas y que presenta determinadas necesidades frente a las cuales pueden analizarse las capacidades que ofrece un UAS.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 Diseño Metodológico

3.1.1 Enfoque de investigación

La integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados requiere comprender dos aspectos que se encuentran relacionados. Por un lado, interesa conocer qué posibilidades ofrecen estos sistemas para el reconocimiento, la detección y el manejo de información sobre posibles amenazas. Por otro, resulta necesario comprender las necesidades que presenta una operación de brechado y la forma en que estas capacidades podrían responder a ellas durante las maniobras de un Ejército de Operaciones. A estos aspectos se suma la necesidad de analizar los requerimientos que deben considerarse para que las capacidades de las aeronaves no tripuladas puedan ser empleadas dentro de una operación de apertura de brechas. Este propósito requiere analizar conocimientos, experiencias y apreciaciones especializadas, más que realizar mediciones sobre el funcionamiento de una determinada plataforma.

Por esta razón, la investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) explican que este enfoque permite estudiar un fenómeno a partir de la interpretación de la información y de los significados que las personas construyen desde su experiencia y conocimiento del contexto. Esta orientación permitió analizar las capacidades de las aeronaves no tripuladas y las operaciones de apertura de brechas desde la perspectiva de personal militar con conocimiento y experiencia en estos campos, así como los requerimientos que deben considerarse para su empleo, complementando sus apreciaciones con la información científica y doctrinal relacionada con el objeto de estudio.

3.1.2 Tipo de investigación

La investigación fue de tipo teórico-empírico y de carácter propositivo, debido a que partió de conocimientos científicos, fundamentos teóricos y doctrina militar relacionados con las capacidades de las aeronaves no tripuladas y las operaciones de apertura de brechas, así como con los requerimientos que deben considerarse para el empleo de estos sistemas durante el brechado, pero también buscó contrastarlos con la experiencia y conocimiento de personal especializado. A partir de este análisis se pretendió determinar los puntos donde las capacidades de las aeronaves no tripuladas, las operaciones de apertura de brechas y los requerimientos para su empleo pueden articularse y, finalmente, formular una propuesta de integración aplicable a las maniobras de un Ejército de Operaciones.

Monje (2011) señala que la investigación cualitativa permite relacionar los referentes conceptuales que orientan un estudio con la información obtenida de la realidad investigada. Bajo esta orientación, el trabajo no se limitó a describir las capacidades tecnológicas disponibles ni los procedimientos doctrinales del brechado de manera separada. El interés estuvo puesto en interpretar ambas fuentes de conocimiento, contrastarlas con las apreciaciones de los especialistas y analizar los requerimientos que deben considerarse para el empleo de los UAS durante el brechado, encontrando relaciones que permitieran construir la propuesta planteada en el objetivo general.

3.1.3 Método de Investigación

La investigación empleó el método hermenéutico-interpretativo, debido a que fue necesario comprender e interpretar información proveniente de diferentes fuentes para establecer cómo podrían relacionarse las capacidades de las aeronaves no tripuladas con las operaciones de apertura de brechas en campos minados y qué requerimientos deberían considerarse para su empleo dentro de estas operaciones. El estudio trabajó con literatura científica, doctrina militar y las apreciaciones de especialistas, buscando reconocer coincidencias, diferencias y relaciones entre estos conocimientos.

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) explican que el análisis cualitativo implica interpretar la información dentro del contexto en el que adquiere significado y establecer

relaciones que permitan comprender el fenómeno estudiado. Desde esta orientación, el método permitió analizar inicialmente las capacidades UAS y las necesidades propias del brechado, así como los requerimientos para el empleo de estos sistemas durante la operación, para posteriormente interpretar los puntos donde estos elementos pueden articularse. Este proceso fue importante para pasar de la descripción de cada categoría a la construcción de una propuesta de integración sustentada en las evidencias obtenidas durante la investigación.

3.1.4 Objeto de estudio

El objeto de estudio fue la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones. El interés estuvo puesto en comprender qué capacidades pueden resultar pertinentes, qué necesidades presenta una operación de brechado, qué requerimientos deben considerarse para el empleo de estas capacidades y de qué manera estos elementos pueden articularse dentro de una misma propuesta.

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) señalan que la investigación cualitativa permite aproximarse a un fenómeno considerando sus diferentes componentes y manteniendo apertura frente a elementos que puedan aparecer durante el proceso de investigación. En correspondencia con esta orientación, el objeto fue estudiado a partir de tres categorías apriorísticas: capacidades de las aeronaves no tripuladas, operaciones de apertura de brechas en campos minados y requerimientos para el empleo de aeronaves no tripuladas en operaciones de apertura de brechas. Sus respectivas subcategorías orientaron inicialmente la recolección y el análisis de información, sin impedir que pudieran aparecer aspectos emergentes que ayudaran a comprender mejor la forma en que estas categorías pueden relacionarse.

3.1.5 Escenario de Estudio

El escenario de estudio estuvo relacionado con el ámbito profesional y doctrinal en el que se desarrollan las operaciones de ingeniería, el empleo de aeronaves no tripuladas y el planeamiento de operaciones militares. A diferencia de una investigación centrada en una

sola unidad militar, el presente estudio requirió recoger conocimientos especializados provenientes de personal que tuviera experiencia en aquellos campos directamente relacionados con las tres categorías de investigación.

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) sostienen que el escenario de un estudio cualitativo debe guardar relación con las condiciones donde puede obtenerse información pertinente sobre el fenómeno investigado. En este caso, el escenario permitió acceder a especialistas vinculados con operaciones de ingeniería, sistemas de aeronaves no tripuladas y planeamiento operacional. Esta diversidad resultó necesaria porque la investigación no buscó describir el funcionamiento de una unidad específica, sino comprender cómo diferentes capacidades tecnológicas y necesidades operacionales pueden articularse considerando los requerimientos necesarios para su empleo dentro de las maniobras de un Ejército de Operaciones.

3.2 Diseño Muestral

La investigación empleó un muestreo intencional no probabilístico, debido a que los participantes fueron seleccionados de acuerdo con su experiencia y conocimiento relacionado con el objeto de estudio. Se consideró personal militar que contaba con experiencia en operaciones de ingeniería y brechado, empleo de aeronaves no tripuladas o planeamiento y conducción de operaciones. De esta manera, se buscó que las distintas perspectivas necesarias para analizar las categorías y los requerimientos para el empleo de los UAS durante el brechado se encontraran representadas dentro de la información recogida.

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) explican que, en los estudios cualitativos, la selección de participantes no busca alcanzar una representación estadística, sino incorporar personas que puedan proporcionar información relevante para comprender el fenómeno. Bajo este criterio, la muestra estuvo conformada inicialmente por seis especialistas, procurando incluir experiencia relacionada con las principales áreas que intervienen en el estudio. La cantidad podía ajustarse durante el trabajo de campo cuando la información obtenida mostrara la necesidad de incorporar otros participantes para alcanzar una comprensión

suficiente de las categorías y de los requerimientos para el empleo de los UAS, así como de su posible articulación.

3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

3.3.1 Técnicas

Para la recolección de información se emplearon la entrevista semiestructurada, el análisis documental y la observación. Estas técnicas permitieron estudiar el objeto desde fuentes complementarias. Las entrevistas permitieron recoger conocimientos, experiencias y apreciaciones de especialistas vinculados con operaciones de ingeniería, empleo de aeronaves no tripuladas y planeamiento operacional, mientras que el análisis documental permitió revisar literatura científica y doctrina militar relacionada con las capacidades UAS y las operaciones de apertura de brechas. La observación permitió registrar aspectos relacionados con las actividades, medios, personal y condiciones vinculadas con el empleo de aeronaves no tripuladas y las operaciones de brechado, en aquellos escenarios o actividades que resultaron accesibles para la investigación.

Monje (2011) explica que la investigación cualitativa puede emplear distintas técnicas para obtener información y contrastar diferentes perspectivas sobre el fenómeno estudiado. En correspondencia con esta orientación, las entrevistas permitieron conocer cómo los especialistas valoraron las posibilidades y limitaciones de las aeronaves no tripuladas frente a las necesidades del brechado y los requerimientos que deberían considerarse para su empleo. El análisis documental, por su parte, permitió reconocer las capacidades descritas por la literatura científica y las exigencias, actividades y procedimientos establecidos en la doctrina militar. La observación complementó esta información mediante el registro de aquellos aspectos que pudieron apreciarse directamente y que aportaron elementos para comprender las capacidades de las aeronaves no tripuladas, las operaciones de apertura de brechas y los requerimientos necesarios para su empleo.

El empleo conjunto de estas técnicas permitió contrastar evidencia científica, doctrina militar, conocimiento especializado e información obtenida mediante la observación. Esta información fue analizada tomando inicialmente como referencia las categorías y

subcategorías apriorísticas desarrolladas en el marco conceptual, manteniendo apertura frente a otros elementos que pudieran aparecer durante el trabajo de campo y que resultaran importantes para construir la propuesta.

3.3.2 Instrumentos

Los instrumentos permitieron recoger y organizar la información de acuerdo con las técnicas seleccionadas. Para ello, se empleó una guía de entrevista semiestructurada, una ficha de análisis documental y una guía de observación, elaboradas tomando como referencia los problemas, objetivos, categorías y subcategorías de la investigación. Su diseño buscó recoger información sobre cada categoría y, además, explorar los puntos donde las capacidades de las aeronaves no tripuladas podrían articularse con las necesidades de una operación de apertura de brechas, considerando los requerimientos necesarios para su empleo.

3.3.2.1 Entrevista semiestructurada. La entrevista semiestructurada se desarrolló mediante una guía de preguntas abiertas dirigida a personal militar con conocimiento o experiencia relacionada con las áreas consideradas en el estudio. Las preguntas tomaron como referencia las categorías y subcategorías apriorísticas, procurando recoger información sobre las capacidades UAS, las necesidades propias del brechado, los requerimientos para el empleo de estos sistemas y las posibles formas de integración entre estos elementos.

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) explican que las entrevistas semiestructuradas parten de una guía previamente preparada, pero permiten introducir preguntas adicionales cuando resulta necesario aclarar o profundizar determinados aspectos. Esta flexibilidad resulta pertinente para la investigación porque los participantes pueden aportar experiencias distintas según su especialidad. De esta manera, se mantuvo una orientación común entre las entrevistas sin impedir que aparecieran conocimientos o experiencias que ayudaran a comprender aspectos no considerados inicialmente.

3.3.2.2 Análisis documental. El análisis documental se realizó mediante una ficha de análisis documental, elaborada para registrar y organizar información proveniente de literatura científica, investigaciones académicas y doctrina militar relacionada con el objeto de

estudio. La revisión consideró documentos vinculados con aeronaves no tripuladas, sensores y sistemas de detección, campos minados, reconocimiento de obstáculos, reducción, brechado, movilidad y apoyo a la maniobra, así como información relacionada con los requerimientos para el empleo de estos sistemas dentro de una operación de apertura de brechas.

Monje (2011) plantea que el análisis documental permite obtener información a partir de fuentes escritas y examinarla según los propósitos de una investigación. Bajo esta orientación, la ficha permitió registrar aquellos contenidos que aportaron información sobre las tres categorías y sus respectivas subcategorías. Posteriormente, estos datos pudieron contrastarse con las apreciaciones recogidas mediante las entrevistas y con la información obtenida mediante la observación, permitiendo reconocer coincidencias, diferencias y aspectos complementarios que ayudaron a establecer posibles relaciones entre las capacidades UAS, las operaciones de apertura de brechas y los requerimientos para su empleo.

3.3.2.3 Observación. La observación se desarrolló mediante una guía de observación, elaborada para registrar de manera ordenada aquellos aspectos que pudieron apreciarse directamente y que guardaron relación con el objeto de estudio. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) señalan que la observación cualitativa implica adentrarse en las situaciones estudiadas y mantener una atención activa sobre los hechos, interacciones y aspectos que forman parte del contexto. Desde esta orientación, la guía tomó como referencia las categorías y subcategorías de la investigación, prestando especial atención a los medios empleados, las actividades desarrolladas, el manejo de la información, la participación del personal y la coordinación entre los elementos que intervienen.

Su aplicación permitió complementar la información obtenida mediante las entrevistas y el análisis documental, recogiendo información relacionada con las capacidades de las aeronaves no tripuladas, las operaciones de apertura de brechas y los requerimientos necesarios para su empleo. De esta manera, la observación permitió contrastar aspectos de las tres categorías de investigación que pudieron ser apreciados directamente durante su

aplicación. La observación se realizó únicamente sobre actividades o escenarios accesibles y autorizados para la investigación, sin intervenir en su desarrollo ni considerar información clasificada o reservada.

3.3.3 Validación de Instrumentos

Los instrumentos elaborados para la investigación fueron sometidos a juicio de expertos antes de su aplicación. Este procedimiento permitió evaluar la claridad, pertinencia y coherencia de las preguntas y aspectos considerados en los instrumentos, verificando su correspondencia con los objetivos, categorías y subcategorías del estudio. Para ello, los especialistas revisaron la guía de entrevista semiestructurada, la ficha de análisis documental y la guía de observación, realizando las observaciones que consideraron necesarias para mejorar su contenido.

La valoración de los expertos fue procesada mediante el coeficiente V de Aiken, con la finalidad de establecer el nivel de validez de contenido de los instrumentos. Este procedimiento se aplicó a los instrumentos elaborados para la recolección de información, permitiendo identificar aquellos elementos que requirieron ajustes antes de su aplicación definitiva.

3.4 Rigor científico.

El rigor científico de la investigación se sustentó en la credibilidad, consistencia y contraste de la información obtenida durante el estudio. Para ello, se mantuvo correspondencia entre el problema, los objetivos, las categorías, las técnicas empleadas y la interpretación de los resultados. Asimismo, se conservó un registro ordenado de la información obtenida y de las decisiones tomadas durante el proceso de análisis.

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) explican que el rigor en una investigación cualitativa requiere que las interpretaciones realizadas encuentren respaldo en la información recogida y que pueda reconocerse el proceso seguido para llegar a ellas. En este estudio se recurrió principalmente a la triangulación de fuentes y técnicas, contrastando la información obtenida mediante las entrevistas con la literatura científica y la doctrina militar revisada a través del análisis documental y con la información recogida mediante la observación.

Este contraste permitió reconocer coincidencias, diferencias y aspectos complementarios entre aquello que plantea la evidencia científica, lo establecido por la doctrina, las apreciaciones de los especialistas y los aspectos identificados mediante la observación. De esta manera, la propuesta de integración no dependió de una sola fuente, sino de la interpretación conjunta de diferentes evidencias relacionadas con las capacidades de las aeronaves no tripuladas, las operaciones de apertura de brechas y los requerimientos para su empleo.

3.5 Técnica para el Procesamiento de la Información

El procesamiento de la información se desarrolló mediante un proceso de organización, codificación e interpretación de los datos obtenidos durante la investigación. La información recopilada a través de las entrevistas, el análisis documental y la observación permitió comprender las capacidades de las aeronaves no tripuladas, las operaciones de apertura de brechas y los requerimientos para su empleo, identificando las experiencias, apreciaciones y aspectos relevantes relacionados con el objeto de estudio.

Monje (2011) señala que el análisis cualitativo consiste en organizar e interpretar la información a partir de categorías que permitan comprender el fenómeno estudiado. Bajo esta perspectiva, la información obtenida fue organizada inicialmente de acuerdo con las tres categorías apriorísticas de la investigación: capacidades de las aeronaves no tripuladas, operaciones de apertura de brechas en campos minados y requerimientos para el empleo de aeronaves no tripuladas en operaciones de apertura de brechas, así como con sus respectivas subcategorías.

En una primera etapa se realizó la codificación de la información obtenida mediante las diferentes técnicas de recolección, incluyendo la información registrada mediante la observación, identificando unidades de significado relacionadas con las categorías y subcategorías establecidas en la investigación. Posteriormente, los códigos fueron agrupados de acuerdo con las relaciones identificadas entre ellos, facilitando la interpretación del fenómeno estudiado.

Durante el proceso de análisis también pudieron emerger nuevas categorías o subcategorías que complementaran la comprensión de la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas. Estas categorías emergentes fueron incorporadas siempre que se encontraron sustentadas en la información obtenida durante la investigación y contribuyeron a explicar el fenómeno investigado.

3.6 Aspectos Éticos

La investigación respetó los principios éticos relacionados con la participación voluntaria, el consentimiento informado y la confidencialidad de la información proporcionada por los participantes. Antes de realizar las entrevistas, se explicó a cada participante el propósito del estudio y el uso académico de la información obtenida, solicitando su consentimiento para participar en la investigación.

La identidad de los participantes fue protegida mediante códigos, evitando incluir información que permitiera su identificación en la presentación de los resultados. Asimismo, la información obtenida fue utilizada únicamente con fines académicos y fue tratada de manera responsable durante todo el proceso de investigación.

En el caso de la observación, esta se realizó únicamente en actividades o escenarios previamente autorizados y se registró solo aquella información relacionada con el objeto de estudio que pudiera ser empleada con fines académicos.

La investigación no consideró información clasificada o reservada relacionada con capacidades militares, procedimientos operacionales o características técnicas que pudieran comprometer la seguridad de las operaciones. Este criterio fue aplicado tanto a las entrevistas y al análisis documental como a la observación.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y SÍNTESIS

4.1 Definición de Categorías y Subcategorías

La organización de las categorías y subcategorías tomó como punto de partida el problema de investigación, los objetivos planteados y la matriz de categorización establecida en el diseño metodológico. Para ello, se consideraron los aspectos relacionados con las capacidades de las aeronaves no tripuladas, las operaciones de apertura de brechas en campos minados y los requerimientos necesarios para integrar ambas dentro de las maniobras de un Ejército de Operaciones.

En ese sentido, se trabajó con tres categorías apriorísticas. La primera correspondió a las capacidades de las aeronaves no tripuladas y comprendió el reconocimiento y vigilancia, los sensores y sistemas de detección, así como el procesamiento y georreferenciación de la información. La segunda estuvo relacionada con las operaciones de apertura de brechas en campos minados, considerando el reconocimiento del obstáculo, la reducción y apertura de la brecha, la protección de la fuerza y la movilidad y continuidad de la maniobra. La tercera categoría abordó los requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas, considerando los requerimientos tecnológicos y de la tarea, los requerimientos de información y comunicaciones, y los requerimientos de personal y organización. Esta organización permitió mantener correspondencia entre los objetivos de la investigación, los instrumentos empleados y los aspectos examinados durante el análisis.

Hernández-Sampieri et al. (2018) explican que la codificación cualitativa permite organizar la información mediante la identificación de unidades de significado que posteriormente pueden compararse y agruparse de acuerdo con su contenido. Siguiendo esta orientación, se tomó como referencia la categorización establecida previamente, manteniendo apertura para reconocer otros aspectos que pudieran aparecer durante la revisión de la información obtenida. De esta manera, el análisis no se limitó a ordenar las

respuestas de los participantes, sino que buscó reconocer relaciones entre las capacidades que pueden ofrecer los UAS, las necesidades propias de una operación de apertura de brechas y las condiciones necesarias para su posible integración.

4.1.1 Recolección de datos

Concluida la etapa de validación de los instrumentos, se emplearon las tres técnicas establecidas en el diseño metodológico: entrevista semiestructurada, observación y análisis documental. Cada una permitió aproximarse al objeto de estudio desde una perspectiva diferente. Las entrevistas estuvieron orientadas a recoger las experiencias y apreciaciones de especialistas vinculados con las operaciones de Ingeniería, el empleo de UAS, los sensores y el procesamiento de información, así como con el planeamiento, conducción e integración de capacidades. La observación permitió registrar aspectos relacionados con el empleo de UAS, las actividades de Ingeniería y las necesidades de información, coordinación y movilidad presentes en las situaciones examinadas. El análisis documental comprendió la revisión de doctrina, estudios científicos y fuentes académicas relacionadas con las capacidades UAS, la apertura de brechas y los requerimientos considerados para su empleo.

Hernández-Sampieri et al. (2018) señalan que la investigación cualitativa puede recurrir a distintas técnicas de recolección para comprender un fenómeno a partir de las experiencias de los participantes y de las condiciones en las que este se presenta. Bajo esta orientación, las tres técnicas fueron empleadas de manera complementaria, permitiendo disponer de información procedente de los especialistas, de las situaciones observadas y de las fuentes documentales consideradas en la investigación.

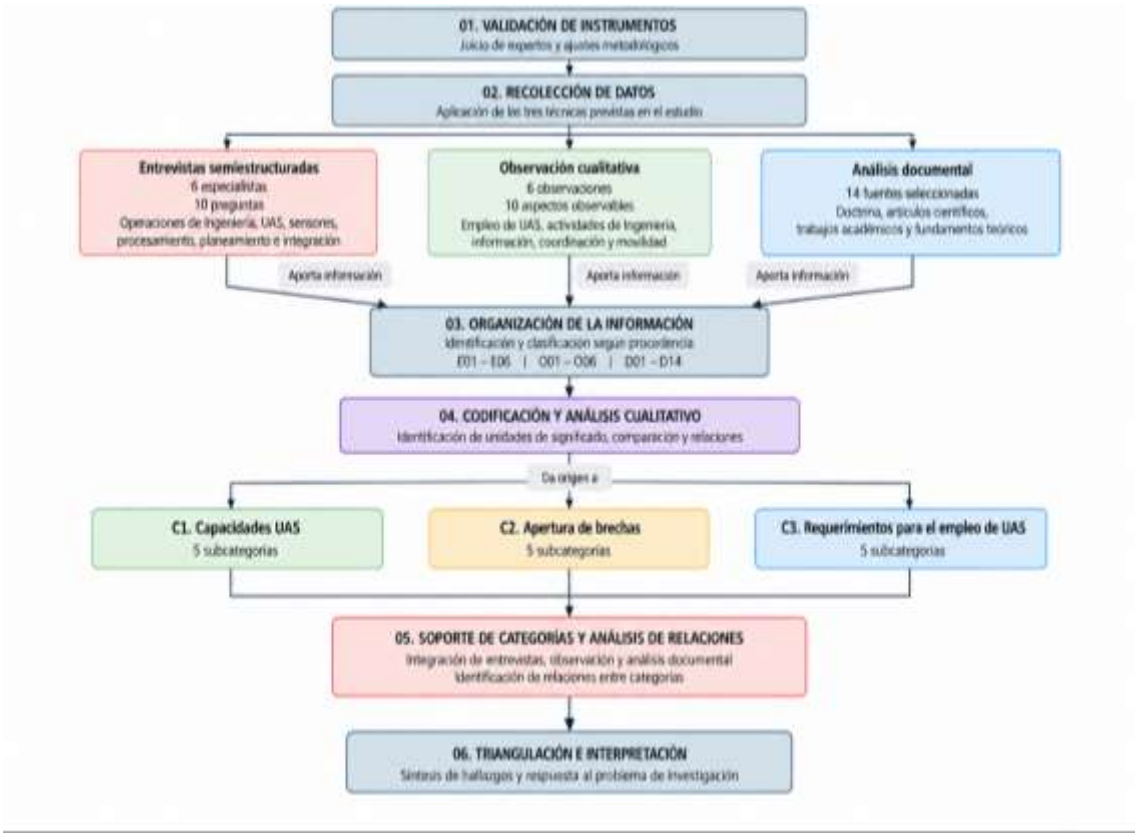
En cuanto a los instrumentos, se contó con una guía de entrevista semiestructurada conformada por diez preguntas. Las nueve primeras estuvieron distribuidas de acuerdo con las tres categorías de investigación y la décima tuvo un carácter integrador, orientado a conocer cómo podrían incorporarse las capacidades de los UAS en las operaciones de apertura de brechas en campos minados. La guía fue aplicada a seis especialistas con experiencia relacionada con las áreas abordadas por el estudio. Asimismo, se empleó una ficha de análisis documental que reunió fuentes doctrinarias, científicas y académicas

seleccionadas por su relación con las categorías de investigación. De manera complementaria, se desarrollaron seis fichas de observación cualitativa, estructuradas sobre diez aspectos observables vinculados con las capacidades UAS, las operaciones de apertura de brechas y los requerimientos para su empleo.

La Figura 1 presenta el procedimiento seguido para organizar el análisis de la información. Este proceso comprendió la validación de los instrumentos, la recolección de los datos mediante las tres técnicas seleccionadas, la organización del material obtenido y su posterior codificación. A partir de ello, se consideró la identificación de unidades de significado y su agrupación dentro de las categorías y subcategorías establecidas, manteniendo apertura para reconocer aspectos que pudieran surgir durante el análisis. El procedimiento continuó con el soporte de las categorías, el establecimiento de relaciones entre los contenidos y la triangulación de la información obtenida mediante las diferentes técnicas.

Figura 1

Proceso metodológico para la definición de categorías y subcategorías.



Para organizar la información se estableció una identificación diferenciada de las fuentes. Las seis entrevistas fueron identificadas como E01 a E06, mientras que las seis observaciones se organizaron como O01 a O06. Para las fuentes consideradas en el análisis documental se empleó una codificación correlativa que permitió distinguir cada documento y conservar su procedencia durante el análisis. Esta identificación facilitó ordenar el material y mantener la trazabilidad de la información utilizada en las siguientes etapas.

Las seis observaciones comprendieron situaciones diferentes vinculadas con el objeto de estudio. Algunas estuvieron relacionadas con actividades de instrucción o entrenamiento en el empleo de UAS para reconocimiento, vigilancia y obtención de información del terreno; otras permitieron observar actividades de Ingeniería relacionadas con el reconocimiento de obstáculos, el mantenimiento de la movilidad y los procedimientos considerados para su superación. También se examinaron situaciones de planeamiento, coordinación y conducción en las que la información sobre el terreno, los obstáculos y las necesidades de Ingeniería formó parte de las actividades desarrolladas. Esta variedad permitió registrar tanto las capacidades observadas en el empleo de UAS como las necesidades presentes en las actividades de Ingeniería, sin asumir una integración entre ambas cuando esta no fue observada.

Por su parte, la ficha de análisis documental reunió documentos doctrinarios, artículos científicos, trabajos académicos y fundamentos teóricos relacionados con el reconocimiento de Ingeniería, las operaciones de apertura de brechas, el empleo de UAS, los sensores para la detección de amenazas, el procesamiento y georreferenciación de información, así como los requerimientos tecnológicos, de información, personal y organización. Su organización permitió relacionar el contenido de las fuentes seleccionadas con las categorías consideradas en la investigación.

De esta manera, la información obtenida mediante las tres técnicas quedó identificada según su procedencia y preparada para su posterior organización y codificación cualitativa. Este procedimiento permitió conservar la trazabilidad de las entrevistas, las observaciones y los documentos durante las siguientes etapas del análisis.

4.1.2 Organización de los datos

La información obtenida mediante las entrevistas semiestructuradas, las observaciones cualitativas y el análisis documental fue organizada para facilitar su revisión, comparación e interpretación. Para ello, se consideró la procedencia de cada registro y su relación con los objetivos de la investigación, manteniendo como referencia las tres categorías establecidas: capacidades de las aeronaves no tripuladas, operaciones de apertura de brechas en campos minados y requerimientos para el empleo de UAS en estas operaciones.

Hernández-Sampieri et al. (2018) explican que la organización de los datos constituye una parte importante del análisis cualitativo, debido a que facilita la revisión del material, la identificación de unidades de significado y el reconocimiento de relaciones entre los contenidos. Siguiendo esta orientación, se estableció una codificación diferenciada para cada técnica, conservando la procedencia de la información y facilitando su identificación durante las siguientes etapas del análisis.

4.1.2.1 Organización de las entrevistas. Las seis entrevistas semiestructuradas fueron ordenadas de acuerdo con la estructura de la guía de entrevista, conformada por diez preguntas. Para identificar cada registro se establecieron los códigos E01, E02, E03, E04, E05 y E06, manteniendo la reserva de la identidad de los participantes.

Las preguntas fueron distribuidas de acuerdo con las tres categorías de la investigación. Las tres primeras estuvieron relacionadas con las capacidades de las aeronaves no tripuladas; las preguntas cuatro, cinco y seis abordaron las operaciones de apertura de brechas en campos minados; mientras que las preguntas siete, ocho y nueve estuvieron orientadas a los requerimientos para el empleo de UAS. La décima pregunta tuvo un carácter integrador y permitió recoger las apreciaciones de los especialistas acerca de la manera en que estas capacidades podrían incorporarse en las operaciones de apertura de brechas durante las maniobras de un Ejército de Operaciones.

La organización también consideró el perfil de los participantes, debido a que sus respuestas procedieron de experiencias vinculadas con diferentes áreas del objeto de

estudio. Entre ellas se encontraron las operaciones de Ingeniería y brechado, el empleo operacional de UAS, los sensores y el procesamiento de información, el planeamiento de operaciones de Ingeniería, el planeamiento y conducción de operaciones y la integración de capacidades. Esta diversidad permitió conservar la perspectiva desde la cual cada especialista abordó las preguntas y facilitó posteriormente la comparación de sus respuestas.

4.1.2.2 Organización de las observaciones. Las seis fichas de observación cualitativa fueron identificadas mediante los códigos O01, O02, O03, O04, O05 y O06. Para mantener un criterio común de análisis, se conservaron los diez aspectos establecidos en la guía de observación, relacionados con el reconocimiento y vigilancia, sensores y sistemas de detección, identificación de amenazas u obstáculos, procesamiento y georreferenciación de la información, reconocimiento y superación del obstáculo, protección de la fuerza, movilidad, características tecnológicas, información y comunicaciones, y participación del personal y organización.

Las situaciones observadas presentaron características diferentes. En algunos registros se examinó el empleo de UAS en actividades de reconocimiento, vigilancia y obtención de información del terreno. En otros se observaron actividades de Ingeniería relacionadas con el reconocimiento de obstáculos, los procedimientos considerados para su superación y el mantenimiento de la movilidad. También se incluyeron actividades de planeamiento, coordinación y conducción donde se intercambió información relacionada con el terreno, los obstáculos y el apoyo de Ingeniería.

Esta diferenciación permitió conservar lo ocurrido en cada situación sin atribuir capacidades o formas de integración que no fueron observadas. Por ello, los registros donde no participaron aeronaves no tripuladas se mantuvieron como tales, del mismo modo que en las actividades donde se emplearon UAS se diferenciaron las capacidades efectivamente observadas de aquellas que requerirían sensores, procedimientos o formas de organización adicionales.

4.1.2.3 Organización del análisis documental. La información documental fue organizada a partir de las catorce fuentes registradas en la ficha de análisis documental. Estas comprendieron documentos doctrinarios, artículos científicos, una tesis y fuentes académicas relacionadas con el reconocimiento de Ingeniería, la apertura de brechas, el empleo de UAS, los sensores y sistemas de detección, la georreferenciación y el procesamiento de información, así como con los fundamentos teóricos empleados para analizar los requerimientos de integración.

Para facilitar su identificación durante el análisis se establecieron los códigos D01 al D14. La organización consideró el tipo de documento, su referencia y el aspecto analizado en relación con las categorías de investigación. Este orden permitió conservar la procedencia de cada fuente y preparar su posterior contraste con la información obtenida mediante las entrevistas y las observaciones.

Tabla 1

Organización de los datos mediante las técnicas cualitativas

Entrevista semiestructurada	Observación cualitativa	Análisis documental
E01	O01	D01
E02	O02	D02
E03	O03	D03
E04	O04	D04
E05	O05	D05
E06	O06	D06
—	—	D07
—	—	D08
—	—	D09
—	—	D10
—	—	D11
—	—	D12
—	—	D13
—	—	D14
6 entrevistas	**6 observaciones**	**14 documentos**

Una vez organizada la información según su procedencia, se tomó como referencia la matriz de categorización establecida en la investigación. Esto permitió relacionar las respuestas de los especialistas, los aspectos registrados durante las observaciones y las

fuentes documentales con las tres categorías y sus respectivas subcategorías, manteniendo un mismo criterio para el proceso de codificación.

Tabla 2

Categorías y subcategorías de análisis

Categorías	Código	Subcategorías
C1. Capacidades de las aeronaves no tripuladas	SC01	Reconocimiento y vigilancia
	SC02	Sensores y sistemas de detección
	SC03	Detección e identificación de amenazas
	SC04	Procesamiento y análisis de información
	SC05	Georreferenciación y mapeo
C2. Operaciones de apertura de brechas en campos minados	SC06	Reconocimiento del obstáculo
	SC07	Reducción del obstáculo y apertura de la brecha
	SC08	Seguridad y protección de la fuerza
	SC09	Movilidad
	SC10	Apoyo a la maniobra
C3. Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas	SC11	Tecnológicos
	SC12	De la tarea
	SC13	Información y comunicaciones
	SC14	Personal
	SC15	Organizacionales

La organización presentada en las Tablas 1 y 2 permitió trabajar con dos niveles de identificación. El primero correspondió a la procedencia de la información, diferenciando entrevistas, observaciones y documentos. El segundo estuvo relacionado con su contenido, tomando como referencia las categorías y subcategorías establecidas. Esta distribución permitió conservar la trazabilidad de las fuentes y preparar la información para la identificación de unidades de significado, su codificación y el posterior soporte de las categorías.

Tabla 3

Recolección y organización de los datos obtenidos mediante las entrevistas

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
SC01. Reconocimiento y vigilancia	**P1. Desde su experiencia, ¿de qué manera las aeronaves no tripuladas podrían apoyar el reconocimiento y vigilancia de una zona donde existen campos minados antes y durante una operación de apertura de brechas?**		**UA01**
	E01	Considero que su principal aporte estaría en el reconocimiento previo. Antes de ingresar a un campo minado necesitamos tener la mayor cantidad de información posible sobre el obstáculo, el terreno y los sectores por donde podría realizarse la brecha. Un UAS permitiría observar el área sin exponer inicialmente al personal de ingeniería. También podría emplearse durante la operación para mantener vigilancia sobre el sector y verificar si aparecen cambios o amenazas que no fueron identificadas al inicio. Para mí, el valor está en poder conocer mejor el área antes de mandar al personal y los medios hacia una zona que todavía presenta bastante incertidumbre.	
	E02	Un UAS podría ingresar primero al área y obtener información sin tener que aproximar inmediatamente al personal. Yo veo ahí una de sus principales ventajas. Se puede realizar un vuelo previo sobre el sector, observar accesos, características del terreno, obstáculos, huellas, alteraciones del suelo o cualquier otro indicio que llame la atención. Después, durante el brechado, puede mantenerse sobre una zona determinada y proporcionar imágenes de lo que está ocurriendo. Sin embargo, hay que tener claro que observar desde el aire no significa necesariamente detectar todas las minas. El UAS amplía nuestra capacidad de reconocimiento y vigilancia, pero sus resultados van a depender bastante del sensor que lleve y de las condiciones en las que opere.	
	E03	Considero que una de las mayores ventajas es poder observar el terreno desde otra perspectiva y obtener información de sectores donde inicialmente no sería conveniente ingresar con personal. Antes de la operación, el UAS podría levantar imágenes del área y permitir identificar cambios en el terreno, zonas alteradas, obstáculos visibles o puntos que merezcan una revisión más detallada. Durante la operación podría actualizar esa información y verificar si las condiciones siguen siendo las mismas. Para mí, lo importante no es solamente que el UAS vuele sobre el campo minado, sino qué información puede obtener y con qué nivel de confiabilidad. Una imagen puede mostrar algo sospechoso, pero eso todavía tiene que ser interpretado. El valor está en convertir esa observación en información que ayude a orientar el reconocimiento.	
	E04	Yo considero que el UAS debería emplearse desde el planeamiento y no recién cuando la fuerza llega al obstáculo. Si sabemos que existe o puede existir un campo minado, una de las primeras necesidades es conocer mejor ese sector. Ahí el UAS puede ampliar el reconocimiento, observar el terreno y proporcionar información sin comprometer inicialmente a los elementos que después realizarán el brechado. También puede mantener vigilancia durante la operación y actualizar lo que se conocía previamente. Para mí, esa	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		actualización es importante porque el planeamiento se hace con información disponible en un determinado momento, pero la situación puede cambiar. El UAS permitiría mantener una observación más continua y ayudar a que las decisiones se ajusten a lo que realmente se está encontrando en el terreno.	
	E05	Desde el punto de vista de la conducción, el principal aporte sería disminuir la incertidumbre que tenemos sobre el sector donde se encuentra el obstáculo. Cuando una fuerza encuentra un campo minado, el problema no es solamente la presencia de las minas, sino también cuánto conocemos del terreno, qué tan extenso es el obstáculo y cómo puede afectar la maniobra que estamos ejecutando. Un UAS puede ayudar a observar previamente esa zona y mantener una vigilancia durante la operación. Para mí, lo importante sería que esa información permita anticiparnos. Si conocemos con mayor oportunidad lo que existe delante de la fuerza, podemos tomar decisiones antes de que el obstáculo termine deteniendo completamente el movimiento. Durante el brechado también podría ayudar a mantener una visión general de lo que ocurre en el sector.	
	E06	Yo veo al UAS como una capacidad que puede ampliar lo que normalmente podemos observar antes de comprometer personal y medios. En una operación donde existe un campo minado, mientras antes tengamos conocimiento del obstáculo, mejores condiciones tendremos para preparar la respuesta. El UAS puede reconocer el sector, observar características del terreno y mantener vigilancia sobre áreas que resulten de interés. Ahora, tampoco considero conveniente pensar que por disponer de un UAS ya tenemos resuelto el reconocimiento. Lo que obtenemos es una fuente adicional de información. Su verdadero aporte aparece cuando esa información se combina con lo que conoce Ingeniería, con otras fuentes disponibles y con la situación que maneja el comandante. Durante el brechado también puede mantener una observación del sector y permitir que la situación se vaya actualizando.	
SC02. Sensores y sistemas de detección	**P2. ¿Qué sensores o sistemas de detección considera que podrían emplearse en aeronaves no tripuladas para detectar e identificar minas u otras amenazas presentes en el terreno?**		**UA02**
	E01	En ese aspecto tendría que diferenciar lo que puede observar una cámara de lo que realmente se necesita para detectar una mina. Una cámara convencional puede ayudar a reconocer el terreno o algunos indicios, pero muchas minas pueden estar enterradas o camufladas. Por eso sería necesario contar con sensores que permitan detectar elementos que no son visibles a simple vista. Podrían considerarse cámaras térmicas, sensores magnéticos o algún sistema que permita reconocer objetos enterrados. No diría que un solo sensor va a solucionar el problema, porque eso también dependerá del tipo de mina, del terreno y de la vegetación. Lo importante sería combinar la información obtenida y no asumir que todo lo que no detectó el UAS está libre de minas.	
	E02	Ese es un tema más complejo porque no existe un sensor que nos garantice detectar cualquier tipo de mina. Se pueden emplear cámaras electroópticas para obtener imágenes de buena resolución y sensores térmicos para identificar ciertas diferencias en la superficie. También existen alternativas como magnetómetros y radares de penetración terrestre que podrían tener aplicación, dependiendo de la	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		plataforma y del tipo de amenaza que se busca. El problema es que cada sensor tiene limitaciones. Una mina con poco contenido metálico, por ejemplo, plantea un problema diferente a una mina metálica. Lo mismo ocurre si hay vegetación, humedad o irregularidades en el terreno. Por eso considero más conveniente trabajar con una combinación de sensores y luego contrastar los resultados, en lugar de confiar toda la detección a uno solo.	
	E03	Yo no hablaría de un sensor único. Ese sería justamente uno de los errores que deberíamos evitar. Una cámara electroóptica puede mostrar alteraciones visibles del terreno; una cámara térmica puede registrar diferencias de temperatura que en determinadas condiciones pueden resultar de interés; y otros sensores, como los magnetómetros o sistemas de radar, podrían aportar información sobre elementos que no son visibles en superficie. Pero cada tecnología responde de manera diferente según el material, la profundidad, la vegetación, la humedad y las propias características del terreno. Por eso, más que decir "este sensor detecta minas", hablaría de sensores que permiten **identificar indicios o anomalías que deben ser analizados**. La combinación de distintas fuentes podría aumentar la confianza de una detección, pero aun así existirán falsos positivos y también elementos que no sean detectados.	
	E04	No soy especialista en sensores, pero considero que deberían combinarse aquellos que permitan observar la superficie con otros que ayuden a identificar anomalías que no sean visibles directamente. Una cámara de buena resolución puede aportar bastante para el reconocimiento general, y otros sensores, como los térmicos, magnéticos o algún sistema de detección de elementos enterrados, podrían complementar esa información. Sin embargo, desde el planeamiento me interesa más conocer qué nivel de certeza me proporciona cada medio. No puedo planear sobre la base de que una zona está libre solamente porque un sensor no detectó nada. Necesito saber qué fue observado, qué es solamente un indicio y qué información todavía requiere confirmación. Eso permite manejar mejor el riesgo.	
	E05	En la parte técnica tendría que apoyarme necesariamente en los especialistas. Sé que existen cámaras de alta resolución, sistemas térmicos y otros sensores que pueden ayudar a detectar anomalías o elementos que no son visibles de manera normal. Pero desde mi posición, más que definir qué sensor específico debería utilizarse, necesitaría conocer qué información puede proporcionarme y con qué grado de confianza. Ese aspecto me parece importante porque una decisión operacional no debería sustentarse en una capacidad que estamos sobreestimando. Si el sensor permite identificar solamente un indicio, entonces debe informarse como un indicio. Si requiere confirmación por otro medio, también debe quedar claro. La tecnología es útil siempre que conozcamos también sus limitaciones.	
	E06	Existen diferentes posibilidades, desde cámaras convencionales y térmicas hasta sensores especializados que pueden identificar determinadas anomalías. Pero considero que la discusión no debería limitarse a cuál es el sensor más avanzado. Primero tenemos que determinar qué amenaza buscamos, en qué tipo de terreno y qué nivel de información necesitamos. Un sensor puede funcionar bien bajo determinadas condiciones y presentar limitaciones en otras. Por eso sería poco prudente depender exclusivamente de	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		una tecnología. Me parece más razonable combinar medios y, principalmente, establecer procedimientos para confirmar la información cuando sea necesario. En este tipo de operaciones, una detección incorrecta puede generar problemas, pero también puede ser peligroso asumir que un sector está libre simplemente porque el sistema no encontró nada.	
SC03. Detección e identificación de amenazas	**P2. ¿Qué sensores o sistemas de detección considera que podrían emplearse en aeronaves no tripuladas para detectar e identificar minas u otras amenazas presentes en el terreno?**		**UA03**
	E01	En ese aspecto tendría que diferenciar lo que puede observar una cámara de lo que realmente se necesita para detectar una mina. Una cámara convencional puede ayudar a reconocer el terreno o algunos indicios, pero muchas minas pueden estar enterradas o camufladas. Por eso sería necesario contar con sensores que permitan detectar elementos que no son visibles a simple vista. Podrían considerarse cámaras térmicas, sensores magnéticos o algún sistema que permita reconocer objetos enterrados. No diría que un solo sensor va a solucionar el problema, porque eso también dependerá del tipo de mina, del terreno y de la vegetación. Lo importante sería combinar la información obtenida y no asumir que todo lo que no detectó el UAS está libre de minas.	
	E02	Ese es un tema más complejo porque no existe un sensor que nos garantice detectar cualquier tipo de mina. Se pueden emplear cámaras electroópticas para obtener imágenes de buena resolución y sensores térmicos para identificar ciertas diferencias en la superficie. También existen alternativas como magnetómetros y radares de penetración terrestre que podrían tener aplicación, dependiendo de la plataforma y del tipo de amenaza que se busca. El problema es que cada sensor tiene limitaciones. Una mina con poco contenido metálico, por ejemplo, plantea un problema diferente a una mina metálica. Lo mismo ocurre si hay vegetación, humedad o irregularidades en el terreno. Por eso considero más conveniente trabajar con una combinación de sensores y luego contrastar los resultados, en lugar de confiar toda la detección a uno solo.	
	E03	Yo no hablaría de un sensor único. Ese sería justamente uno de los errores que deberíamos evitar. Una cámara electroóptica puede mostrar alteraciones visibles del terreno; una cámara térmica puede registrar diferencias de temperatura que en determinadas condiciones pueden resultar de interés; y otros sensores, como los magnetómetros o sistemas de radar, podrían aportar información sobre elementos que no son visibles en superficie. Pero cada tecnología responde de manera diferente según el material, la profundidad, la vegetación, la humedad y las propias características del terreno. Por eso, más que decir “este sensor detecta minas”, hablaría de sensores que permiten **identificar indicios o anomalías que deben ser analizados**. La combinación de distintas fuentes podría aumentar la confianza de una detección, pero aun así existirán falsos positivos y también elementos que no sean detectados.	
	E04	No soy especialista en sensores, pero considero que deberían combinarse aquellos que permitan observar la superficie con otros que ayuden a identificar anomalías que no sean visibles directamente. Una cámara de buena resolución puede aportar bastante para el reconocimiento general, y otros sensores, como los	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		térmicos, magnéticos o algún sistema de detección de elementos enterrados, podrían complementar esa información. Sin embargo, desde el planeamiento me interesa más conocer qué nivel de certeza me proporciona cada medio. No puedo planear sobre la base de que una zona está libre solamente porque un sensor no detectó nada. Necesito saber qué fue observado, qué es solamente un indicio y qué información todavía requiere confirmación. Eso permite manejar mejor el riesgo.	
	E05	En la parte técnica tendría que apoyarme necesariamente en los especialistas. Sé que existen cámaras de alta resolución, sistemas térmicos y otros sensores que pueden ayudar a detectar anomalías o elementos que no son visibles de manera normal. Pero desde mi posición, más que definir qué sensor específico debería utilizarse, necesitaría conocer qué información puede proporcionarme y con qué grado de confianza. Ese aspecto me parece importante porque una decisión operacional no debería sustentarse en una capacidad que estamos sobreestimando. Si el sensor permite identificar solamente un indicio, entonces debe informarse como un indicio. Si requiere confirmación por otro medio, también debe quedar claro. La tecnología es útil siempre que conozcamos también sus limitaciones.	
	E06	Existen diferentes posibilidades, desde cámaras convencionales y térmicas hasta sensores especializados que pueden identificar determinadas anomalías. Pero considero que la discusión no debería limitarse a cuál es el sensor más avanzado. Primero tenemos que determinar qué amenaza buscamos, en qué tipo de terreno y qué nivel de información necesitamos. Un sensor puede funcionar bien bajo determinadas condiciones y presentar limitaciones en otras. Por eso sería poco prudente depender exclusivamente de una tecnología. Me parece más razonable combinar medios y, principalmente, establecer procedimientos para confirmar la información cuando sea necesario. En este tipo de operaciones, una detección incorrecta puede generar problemas, pero también puede ser peligroso asumir que un sector está libre simplemente porque el sistema no encontró nada.	
SC04. Procesamiento y análisis de información	**P3. ¿Cómo debería procesarse, analizarse y georreferenciarse la información obtenida por las aeronaves no tripuladas para que resulte útil durante una operación de apertura de brechas?**		**UA04**
	E01	La información debería llegar de una manera sencilla y, sobre todo, útil para quien va a tomar la decisión. No serviría de mucho tener una gran cantidad de imágenes si después el personal de ingeniería no puede identificar dónde está el obstáculo o dónde existe una posible amenaza. Considero que la información debería procesarse y colocarse sobre una representación del terreno, señalando los puntos o sectores donde se detectaron indicios. Si además se puede georreferenciar esa información, sería mucho mejor, porque permitiría ubicar esos puntos y compararlos con la dirección de avance y con los posibles lugares para abrir la brecha.	
	E02	Yo separaría el dato de la información útil. El UAS puede obtener cientos de imágenes o incluso transmitir video en tiempo real, pero eso por sí solo no ayuda necesariamente al comandante. Hay que procesarlo. Los puntos de interés deberían quedar asociados a coordenadas y representarse sobre una cartografía que pueda utilizar el personal que está en tierra. También sería conveniente diferenciar lo que es una	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		observación confirmada de aquello que solamente constituye un indicio. Si el sistema detecta una anomalía, esta debería quedar marcada y posteriormente ser analizada o confirmada por otros medios. Lo importante es entregar un producto que sea comprensible y que permita tomar una decisión, no simplemente entregar imágenes.	
	E03	Para mí, este es uno de los aspectos centrales. Si solamente entregamos fotografías o horas de video, estamos trasladando el problema a otra persona. Primero habría que ordenar y procesar los datos obtenidos. Después se deberían identificar los puntos de interés y ubicarlos espacialmente. Esos puntos podrían representarse sobre una imagen georreferenciada o un producto cartográfico del área. Además, considero importante asignar algún nivel de valoración a la información. No es lo mismo decir “aquí existe una mina” que decir “en este punto existe una anomalía que requiere verificación”. Esa diferencia debe mantenerse. Si varios sensores muestran un indicio similar en una misma zona, la información puede adquirir mayor consistencia. Finalmente, el producto debería ser simple: ubicación, tipo de indicio observado y nivel de confianza. Así puede ser comprendido por quien va a utilizarlo.	
	E04	Debería integrarse con la información que ya maneja el Estado Mayor y, particularmente, con la que necesita el elemento de ingeniería. Si el UAS obtiene información, pero esta queda solamente en la estación del operador, hemos aprovechado muy poco su capacidad. Lo ideal sería que los puntos o sectores identificados puedan ubicarse sobre la misma referencia cartográfica que utiliza la fuerza. Así se podrían relacionar con el obstáculo, el terreno y la maniobra prevista. Además, la información debería ser analizada antes de presentarla. El comandante necesita saber qué significa lo observado y cómo puede afectar la operación. En ese sentido, considero que la georreferenciación es importante porque permite relacionar directamente la información del UAS con una decisión de planeamiento.	
	E05	La información debería integrarse a la situación que ya maneja el Estado Mayor. Para un comandante no sería práctico recibir solamente imágenes del UAS y tener que interpretarlas mientras conduce la operación. Lo que necesita es conocer dónde está el problema, qué importancia tiene y cómo puede afectar la maniobra. Por eso considero que la información debería llegar procesada, con los puntos de interés ubicados sobre una referencia común y diferenciando aquello que ha sido identificado de aquello que todavía genera duda. La georreferenciación permitiría relacionar esa información con la ubicación de nuestras fuerzas, los obstáculos y la dirección prevista de la maniobra. Mientras más fácil sea incorporar ese producto a la situación operacional, mayor utilidad tendrá.	
	E06	La información debe terminar formando parte de una situación común. No debería existir una situación del operador del UAS, otra del elemento de Ingeniería y otra del Estado Mayor. Si todos trabajan con información diferente, la ventaja tecnológica se pierde. Los datos obtenidos deberían ser analizados, ubicados correctamente en el terreno y presentados de manera que puedan ser comprendidos por quienes van a utilizarlos. También debería indicarse qué grado de confianza tiene esa información. Un punto que solamente presenta un indicio no puede representarse de la misma manera que uno que ya ha sido	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		confirmado por otros medios. Eso ayuda a que el comandante pueda valorar mejor el riesgo y evita convertir una apreciación técnica en una certeza que todavía no existe.	
SC05. Georreferenciación y mapeo	**P3. ¿Cómo debería procesarse, analizarse y georreferenciarse la información obtenida por las aeronaves no tripuladas para que resulte útil durante una operación de apertura de brechas?**		**UA05**
	E01	La información debería llegar de una manera sencilla y, sobre todo, útil para quien va a tomar la decisión. No serviría de mucho tener una gran cantidad de imágenes si después el personal de ingeniería no puede identificar dónde está el obstáculo o dónde existe una posible amenaza. Considero que la información debería procesarse y colocarse sobre una representación del terreno, señalando los puntos o sectores donde se detectaron indicios. Si además se puede georreferenciar esa información, sería mucho mejor, porque permitiría ubicar esos puntos y compararlos con la dirección de avance y con los posibles lugares para abrir la brecha.	
	E02	Yo separaría el dato de la información útil. El UAS puede obtener cientos de imágenes o incluso transmitir video en tiempo real, pero eso por sí solo no ayuda necesariamente al comandante. Hay que procesarlo. Los puntos de interés deberían quedar asociados a coordenadas y representarse sobre una cartografía que pueda utilizar el personal que está en tierra. También sería conveniente diferenciar lo que es una observación confirmada de aquello que solamente constituye un indicio. Si el sistema detecta una anomalía, esta debería quedar marcada y posteriormente ser analizada o confirmada por otros medios. Lo importante es entregar un producto que sea comprensible y que permita tomar una decisión, no simplemente entregar imágenes.	
	E03	Para mí, este es uno de los aspectos centrales. Si solamente entregamos fotografías o horas de video, estamos trasladando el problema a otra persona. Primero habría que ordenar y procesar los datos obtenidos. Después se deberían identificar los puntos de interés y ubicarlos espacialmente. Esos puntos podrían representarse sobre una imagen georreferenciada o un producto cartográfico del área. Además, considero importante asignar algún nivel de valoración a la información. No es lo mismo decir “aquí existe una mina” que decir “en este punto existe una anomalía que requiere verificación”. Esa diferencia debe mantenerse. Si varios sensores muestran un indicio similar en una misma zona, la información puede adquirir mayor consistencia. Finalmente, el producto debería ser simple: ubicación, tipo de indicio observado y nivel de confianza. Así puede ser comprendido por quien va a utilizarlo.	
	E04	Debería integrarse con la información que ya maneja el Estado Mayor y, particularmente, con la que necesita el elemento de ingeniería. Si el UAS obtiene información, pero esta queda solamente en la estación del operador, hemos aprovechado muy poco su capacidad. Lo ideal sería que los puntos o sectores identificados puedan ubicarse sobre la misma referencia cartográfica que utiliza la fuerza. Así se podrían relacionar con el obstáculo, el terreno y la maniobra prevista. Además, la información debería ser analizada antes de presentarla. El comandante necesita saber qué significa lo observado y cómo puede	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		afectar la operación. En ese sentido, considero que la georreferenciación es importante porque permite relacionar directamente la información del UAS con una decisión de planeamiento.	
	E05	La información debería integrarse a la situación que ya maneja el Estado Mayor. Para un comandante no sería práctico recibir solamente imágenes del UAS y tener que interpretarlas mientras conduce la operación. Lo que necesita es conocer dónde está el problema, qué importancia tiene y cómo puede afectar la maniobra. Por eso considero que la información debería llegar procesada, con los puntos de interés ubicados sobre una referencia común y diferenciando aquello que ha sido identificado de aquello que todavía genera duda. La georreferenciación permitiría relacionar esa información con la ubicación de nuestras fuerzas, los obstáculos y la dirección prevista de la maniobra. Mientras más fácil sea incorporar ese producto a la situación operacional, mayor utilidad tendrá.	
	E06	La información debe terminar formando parte de una situación común. No debería existir una situación del operador del UAS, otra del elemento de Ingeniería y otra del Estado Mayor. Si todos trabajan con información diferente, la ventaja tecnológica se pierde. Los datos obtenidos deberían ser analizados, ubicados correctamente en el terreno y presentados de manera que puedan ser comprendidos por quienes van a utilizarlos. También debería indicarse qué grado de confianza tiene esa información. Un punto que solamente presenta un indicio no puede representarse de la misma manera que uno que ya ha sido confirmado por otros medios. Eso ayuda a que el comandante pueda valorar mejor el riesgo y evita convertir una apreciación técnica en una certeza que todavía no existe.	
SC06. Reconocimiento del obstáculo	**P4. ¿Qué información considera necesaria durante el reconocimiento de un campo minado para planear y ejecutar la reducción del obstáculo y la apertura de una brecha?**		**UA06**
	E01	Primero necesitamos conocer las características del obstáculo: dónde comienza, hasta dónde podría extenderse, qué tipo de terreno existe y, en lo posible, cómo están distribuidas las minas. También interesa identificar sectores que permitan aproximarse y trabajar con mejores condiciones. Esa información sirve para decidir por dónde conviene abrir la brecha, qué medios se necesitan y cómo se va a proteger al personal que realizará la reducción. Mientras más información tengamos antes de intervenir, podemos planear mejor. De todas maneras, hay que considerar que nunca vamos a tener certeza absoluta sobre un campo minado, por eso el reconocimiento debe continuar mientras se ejecuta la operación.	
	E02	Desde la perspectiva del UAS, yo necesitaría saber qué busca exactamente el elemento de ingeniería. No tendría sentido sobrevolar toda un área sin establecer previamente qué información necesitamos obtener. Se debería identificar la extensión aproximada del obstáculo, posibles accesos, características de la superficie, zonas que presenten indicios de minas y también sectores donde existan mejores condiciones para continuar el reconocimiento. Además, interesa saber qué hay alrededor del obstáculo, porque el campo minado no está aislado del resto de la operación. Esa información tendría que entregarse al elemento de ingeniería para que ellos determinen cómo realizar la reducción y dónde establecer la brecha.	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
	E03	Desde mi especialidad, considero necesario conocer primero qué información necesita el personal que realizará el brechado, porque eso determina qué datos debemos buscar. Sería importante reconocer los límites aproximados del área, características del terreno, posibles obstáculos visibles, zonas con alteraciones y puntos donde los sensores presenten anomalías. También es importante conocer las condiciones del entorno porque pueden afectar la lectura de los sensores. No creo que el producto deba pretender mostrar con exactitud cada mina existente. Sería más realista identificar áreas de mayor o menor interés para orientar el reconocimiento posterior. El personal de ingeniería podrá utilizar esa información junto con otras fuentes para tomar sus decisiones.	
	E04	Para planear necesitamos construir una idea bastante clara del obstáculo y de su relación con la maniobra. Interesa conocer su ubicación y extensión aproximada, las características del terreno, los accesos, las amenazas presentes y las condiciones que pueden afectar el movimiento. También necesitamos saber qué información todavía no tenemos, porque eso permite orientar el reconocimiento. Otro aspecto importante es el tiempo. No basta con saber que existe un obstáculo; tenemos que determinar cómo puede afectar el movimiento previsto y qué medios de ingeniería será necesario considerar. Por eso el reconocimiento tiene que responder a las necesidades del planeamiento y no convertirse simplemente en una acumulación de datos.	
	E05	Desde el planeamiento necesito saber principalmente cómo ese obstáculo afecta la maniobra. Evidentemente Ingeniería requerirá información más específica para realizar el brechado, pero a nivel de conducción interesa conocer su ubicación, extensión aproximada, características del terreno, posibles sectores de paso y cuánto tiempo podría afectar el movimiento de la fuerza. También es importante determinar qué medios serán necesarios y cómo se coordinará el apoyo de los demás elementos. No podemos analizar el campo minado de manera aislada. El obstáculo está relacionado con una situación mayor y puede haber otras amenazas actuando al mismo tiempo. Por eso el reconocimiento debe permitir que Ingeniería prepare su intervención, pero también que el comandante comprenda qué efecto tendrá ese obstáculo sobre su maniobra.	
	E06	Necesitamos conocer el obstáculo, pero también su relación con el resto de la operación. Evidentemente interesa determinar su ubicación, extensión aproximada, características del terreno, amenazas existentes y aquellos sectores que puedan ser de interés para Ingeniería. Pero también debemos preguntarnos qué efecto busca producir ese obstáculo sobre nuestra fuerza y cómo está afectando nuestra maniobra. Ese análisis permite orientar mejor el reconocimiento. No todo el campo minado tiene necesariamente la misma importancia para la operación. La información debe ayudar a Ingeniería a preparar su intervención y, al mismo tiempo, permitir que el comandante mantenga alternativas para continuar la maniobra. Por eso considero que el reconocimiento debe responder a una necesidad operacional concreta y no desarrollarse de manera aislada.	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
SC07. Reducción del obstáculo y apertura de la brecha	**P4. ¿Qué información considera necesaria durante el reconocimiento de un campo minado para planear y ejecutar la reducción del obstáculo y la apertura de una brecha?**		**UA07**
	E01	Primero necesitamos conocer las características del obstáculo: dónde comienza, hasta dónde podría extenderse, qué tipo de terreno existe y, en lo posible, cómo están distribuidas las minas. También interesa identificar sectores que permitan aproximarse y trabajar con mejores condiciones. Esa información sirve para decidir por dónde conviene abrir la brecha, qué medios se necesitan y cómo se va a proteger al personal que realizará la reducción. Mientras más información tengamos antes de intervenir, podemos planear mejor. De todas maneras, hay que considerar que nunca vamos a tener certeza absoluta sobre un campo minado, por eso el reconocimiento debe continuar mientras se ejecuta la operación.	
	E02	Desde la perspectiva del UAS, yo necesitaría saber qué busca exactamente el elemento de ingeniería. No tendría sentido sobrevolar toda un área sin establecer previamente qué información necesitamos obtener. Se debería identificar la extensión aproximada del obstáculo, posibles accesos, características de la superficie, zonas que presenten indicios de minas y también sectores donde existan mejores condiciones para continuar el reconocimiento. Además, interesa saber qué hay alrededor del obstáculo, porque el campo minado no está aislado del resto de la operación. Esa información tendría que entregarse al elemento de ingeniería para que ellos determinen cómo realizar la reducción y dónde establecer la brecha.	
	E03	Desde mi especialidad, considero necesario conocer primero qué información necesita el personal que realizará el brechado, porque eso determina qué datos debemos buscar. Sería importante reconocer los límites aproximados del área, características del terreno, posibles obstáculos visibles, zonas con alteraciones y puntos donde los sensores presenten anomalías. También es importante conocer las condiciones del entorno porque pueden afectar la lectura de los sensores. No creo que el producto deba pretender mostrar con exactitud cada mina existente. Sería más realista identificar áreas de mayor o menor interés para orientar el reconocimiento posterior. El personal de ingeniería podrá utilizar esa información junto con otras fuentes para tomar sus decisiones.	
	E04	Para planear necesitamos construir una idea bastante clara del obstáculo y de su relación con la maniobra. Interesa conocer su ubicación y extensión aproximada, las características del terreno, los accesos, las amenazas presentes y las condiciones que pueden afectar el movimiento. También necesitamos saber qué información todavía no tenemos, porque eso permite orientar el reconocimiento. Otro aspecto importante es el tiempo. No basta con saber que existe un obstáculo; tenemos que determinar cómo puede afectar el movimiento previsto y qué medios de ingeniería será necesario considerar. Por eso el reconocimiento tiene que responder a las necesidades del planeamiento y no convertirse simplemente en una acumulación de datos.	
	E05	Desde el planeamiento necesito saber principalmente cómo ese obstáculo afecta la maniobra. Evidentemente Ingeniería requerirá información más específica para realizar el brechado, pero a nivel de	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		conducción interesa conocer su ubicación, extensión aproximada, características del terreno, posibles sectores de paso y cuánto tiempo podría afectar el movimiento de la fuerza. También es importante determinar qué medios serán necesarios y cómo se coordinará el apoyo de los demás elementos. No podemos analizar el campo minado de manera aislada. El obstáculo está relacionado con una situación mayor y puede haber otras amenazas actuando al mismo tiempo. Por eso el reconocimiento debe permitir que Ingeniería prepare su intervención, pero también que el comandante comprenda qué efecto tendrá ese obstáculo sobre su maniobra.	
	E06	Necesitamos conocer el obstáculo, pero también su relación con el resto de la operación. Evidentemente interesa determinar su ubicación, extensión aproximada, características del terreno, amenazas existentes y aquellos sectores que puedan ser de interés para Ingeniería. Pero también debemos preguntarnos qué efecto busca producir ese obstáculo sobre nuestra fuerza y cómo está afectando nuestra maniobra. Ese análisis permite orientar mejor el reconocimiento. No todo el campo minado tiene necesariamente la misma importancia para la operación. La información debe ayudar a Ingeniería a preparar su intervención y, al mismo tiempo, permitir que el comandante mantenga alternativas para continuar la maniobra. Por eso considero que el reconocimiento debe responder a una necesidad operacional concreta y no desarrollarse de manera aislada.	
SC08. Seguridad y protección de la fuerza	**P5. ¿Qué aspectos deben considerarse para proteger al personal y los medios durante una operación de apertura de brechas en campos minados?**		**UA08**
	E01	Lo principal es evitar exponer al personal antes de tener información suficiente sobre el obstáculo. También deben respetarse los procedimientos de seguridad, mantener claramente identificados los sectores reconocidos y controlar el movimiento de los elementos que participan en la brecha. Otro aspecto importante es la coordinación, porque durante el brechado participan diferentes medios y cualquier error puede generar un riesgo adicional. En ese punto el UAS podría ayudar a reconocer primero determinadas zonas, pero no reemplaza las medidas de seguridad ni los procedimientos que debe cumplir el personal de ingeniería.	
	E02	Una ventaja del UAS es precisamente poder separar al operador de la zona de mayor peligro. Si puedo observar primero un sector desde una posición segura, estoy evitando una exposición inicial que antes podía recaer directamente sobre el personal. Pero también hay riesgos propios del sistema. Puede perderse el enlace, puede existir interferencia, quedarse sin autonomía suficiente o incluso perderse la aeronave. Por eso la seguridad no debe entenderse solamente como protección frente a las minas. Hay que planificar el vuelo, mantener una distancia adecuada, prever qué hacer si se pierde la comunicación y evitar que una falla del UAS termine afectando la operación que se está desarrollando en tierra.	
	E03	Desde el punto de vista de la información, considero que una medida de protección importante es no generar una falsa sensación de seguridad. Si un sensor no muestra una anomalía, eso no significa automáticamente que el sector sea seguro. Ese aspecto debería quedar claro para todos los usuarios de	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		la información. Al mismo tiempo, el empleo del UAS permite realizar una primera observación sin colocar inmediatamente personal dentro del área de mayor riesgo. Entonces sí existe una ventaja para la protección de la fuerza. Pero esa ventaja depende de que los resultados se interpreten correctamente y se combinen con los procedimientos de seguridad y con otros medios de reconocimiento.	
	E04	La protección tiene que estar considerada desde el planeamiento. Debe existir coordinación entre quienes realizan el reconocimiento, quienes ejecutan las tareas de ingeniería y los demás elementos que apoyan la operación. También hay que reducir en lo posible la exposición innecesaria del personal y mantener una comprensión común de qué sectores han sido reconocidos y cuáles continúan presentando incertidumbre. El UAS puede contribuir porque permite observar determinados sectores a distancia, pero no eliminará el riesgo. Incluso la propia información debe manejarse con cuidado. Una interpretación equivocada podría llevarnos a asumir un nivel de seguridad que realmente no existe. Por eso considero que la protección depende tanto de los medios empleados como de la coordinación y de una adecuada valoración de la información.	
	E05	Hay que evitar que la necesidad de mantener el ritmo de la operación lleve a asumir riesgos que no corresponden. Cuando existe presión por continuar el avance puede aparecer la tendencia a acelerar determinadas acciones, pero en un campo minado un error puede tener consecuencias importantes. La protección requiere información, coordinación y disciplina en la ejecución. El UAS puede contribuir reduciendo parte de la exposición durante el reconocimiento, pero además deben mantenerse las medidas de seguridad propias del brechado y la coordinación con los elementos que brindan apoyo. También considero importante que todos conozcan qué sectores presentan riesgo y qué información todavía no ha sido confirmada. Una situación mal comprendida puede generar tanto peligro como la falta de información.	
	E06	La primera consideración es que el brechado seguirá siendo una actividad de riesgo aun cuando incorporemos UAS. La tecnología puede disminuir ciertas exposiciones, particularmente durante el reconocimiento, pero no elimina el peligro propio de la operación. Por ello se necesita una combinación de medidas: información adecuada, personal entrenado, coordinación entre los elementos participantes y cumplimiento de los procedimientos establecidos. También es necesario reconocer las limitaciones de los sistemas que estamos empleando. A veces el exceso de confianza en una tecnología puede generar un riesgo adicional. El UAS debería ayudarnos a tomar decisiones con mayor información, no llevarnos a asumir que podemos prescindir de las medidas de protección que ya exige este tipo de operación.	
SC09. Movilidad	**P6. ¿De qué manera la apertura de una brecha contribuye a mantener la movilidad de la fuerza y apoyar la continuidad de la maniobra?**		**UA09**
	E01	La finalidad de la brecha justamente es permitir que la fuerza continúe su movimiento. Si un campo minado detiene el avance y no se genera un paso, la maniobra pierde ritmo y el enemigo puede aprovechar esa situación. Por eso no se trata solamente de retirar o detectar minas. Lo que buscamos es generar un paso que pueda ser utilizado por los elementos que vienen detrás. Una brecha bien ejecutada permite recuperar	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		la movilidad y continuar la maniobra en el tiempo previsto. Por eso también es importante que el reconocimiento y la reducción se realicen de manera coordinada y sin generar demoras innecesarias.	
	E02	Desde mi punto de vista, el UAS puede ayudar principalmente a reducir el tiempo que se emplea en obtener determinada información, pero la movilidad finalmente depende de que la brecha sea abierta y pueda ser utilizada por la fuerza. Si conseguimos reconocer antes el terreno y proporcionar información más precisa, el elemento encargado del brechado puede concentrar sus medios en un sector con mejores condiciones. Ahí veo la relación. El UAS no produce la movilidad por sí mismo, pero puede ayudar a que el proceso previo y el seguimiento de la operación sean más oportunos, lo que finalmente favorece la continuidad de la maniobra.	
	E03	Entiendo que la brecha permite superar un obstáculo que está limitando el movimiento de la fuerza. Desde mi campo, la contribución estaría en proporcionar información que ayude a que ese proceso se realice con mayor conocimiento de la situación. Si podemos identificar previamente sectores que presentan determinadas características o advertir sobre zonas donde existen más indicios, esa información puede ayudar al personal responsable a orientar mejor sus acciones. No diría que la tecnología acelera automáticamente la maniobra. Incluso podría ocurrir lo contrario si genera demasiada información que después nadie puede procesar. El beneficio aparece cuando la información que se obtiene es realmente útil y llega a tiempo.	
	E04	El campo minado busca limitar o canalizar el movimiento. Por eso, cuando se abre una brecha, lo que se está haciendo es recuperar una posibilidad de movimiento para la fuerza. Pero esa brecha tiene sentido en función de la maniobra. No se trata de abrir un paso en cualquier lugar, sino de hacerlo donde realmente permita continuar la operación prevista. Desde esa perspectiva, la ingeniería tiene que estar vinculada permanentemente con el planeamiento de la maniobra. Si el UAS puede proporcionar información que permita comprender mejor el obstáculo y actualizar la situación, puede contribuir indirectamente a que esa brecha responda mejor a las necesidades de la fuerza.	
	E05	Es fundamental porque un obstáculo que no puede ser superado termina afectando directamente el ritmo de la operación. Puede retrasar a la fuerza, obligarla a modificar su dirección o concentrarla en sectores que no estaban previstos. Entonces, la apertura de la brecha permite recuperar la libertad de movimiento necesaria para continuar la maniobra. Pero también existe un factor tiempo. No basta con abrir la brecha; debe hacerse con la oportunidad que requiere la operación. Si el procedimiento demora demasiado, aunque finalmente se consiga el paso, el efecto sobre la maniobra ya se produjo. En ese sentido, cualquier capacidad que permita obtener información antes y preparar mejor la intervención puede tener un efecto favorable sobre la continuidad de las operaciones.	
	E06	La brecha permite recuperar la movilidad que el obstáculo intenta restringir. Pero desde el nivel de conducción no basta con que exista un paso; ese paso debe responder a la maniobra que se está desarrollando y permitir que la fuerza continúe operando en condiciones adecuadas. El tiempo tiene	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		bastante importancia. Una fuerza detenida frente a un obstáculo pierde libertad de acción y puede quedar en una situación desfavorable. Entonces, si mediante un mejor reconocimiento conseguimos anticipar la presencia del campo minado y preparar con mayor oportunidad la intervención de Ingeniería, estamos contribuyendo a reducir ese efecto sobre la maniobra. Allí considero que el UAS puede aportar, principalmente permitiendo que algunas decisiones se adopten antes.	
SC10. Apoyo a la maniobra	**P6. ¿De qué manera la apertura de una brecha contribuye a mantener la movilidad de la fuerza y apoyar la continuidad de la maniobra?**		**UA10**
	E01	La finalidad de la brecha justamente es permitir que la fuerza continúe su movimiento. Si un campo minado detiene el avance y no se genera un paso, la maniobra pierde ritmo y el enemigo puede aprovechar esa situación. Por eso no se trata solamente de retirar o detectar minas. Lo que buscamos es generar un paso que pueda ser utilizado por los elementos que vienen detrás. Una brecha bien ejecutada permite recuperar la movilidad y continuar la maniobra en el tiempo previsto. Por eso también es importante que el reconocimiento y la reducción se realicen de manera coordinada y sin generar demoras innecesarias.	
	E02	Desde mi punto de vista, el UAS puede ayudar principalmente a reducir el tiempo que se emplea en obtener determinada información, pero la movilidad finalmente depende de que la brecha sea abierta y pueda ser utilizada por la fuerza. Si conseguimos reconocer antes el terreno y proporcionar información más precisa, el elemento encargado del brechado puede concentrar sus medios en un sector con mejores condiciones. Ahí veo la relación. El UAS no produce la movilidad por sí mismo, pero puede ayudar a que el proceso previo y el seguimiento de la operación sean más oportunos, lo que finalmente favorece la continuidad de la maniobra.	
	E03	Entiendo que la brecha permite superar un obstáculo que está limitando el movimiento de la fuerza. Desde mi campo, la contribución estaría en proporcionar información que ayude a que ese proceso se realice con mayor conocimiento de la situación. Si podemos identificar previamente sectores que presentan determinadas características o advertir sobre zonas donde existen más indicios, esa información puede ayudar al personal responsable a orientar mejor sus acciones. No diría que la tecnología acelera automáticamente la maniobra. Incluso podría ocurrir lo contrario si genera demasiada información que después nadie puede procesar. El beneficio aparece cuando la información que se obtiene es realmente útil y llega a tiempo.	
	E04	El campo minado busca limitar o canalizar el movimiento. Por eso, cuando se abre una brecha, lo que se está haciendo es recuperar una posibilidad de movimiento para la fuerza. Pero esa brecha tiene sentido en función de la maniobra. No se trata de abrir un paso en cualquier lugar, sino de hacerlo donde realmente permita continuar la operación prevista. Desde esa perspectiva, la ingeniería tiene que estar vinculada permanentemente con el planeamiento de la maniobra. Si el UAS puede proporcionar información que permita comprender mejor el obstáculo y actualizar la situación, puede contribuir indirectamente a que esa brecha responda mejor a las necesidades de la fuerza.	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
	E05	Es fundamental porque un obstáculo que no puede ser superado termina afectando directamente el ritmo de la operación. Puede retrasar a la fuerza, obligarla a modificar su dirección o concentrarla en sectores que no estaban previstos. Entonces, la apertura de la brecha permite recuperar la libertad de movimiento necesaria para continuar la maniobra. Pero también existe un factor tiempo. No basta con abrir la brecha; debe hacerse con la oportunidad que requiere la operación. Si el procedimiento demora demasiado, aunque finalmente se consiga el paso, el efecto sobre la maniobra ya se produjo. En ese sentido, cualquier capacidad que permita obtener información antes y preparar mejor la intervención puede tener un efecto favorable sobre la continuidad de las operaciones.	
	E06	La brecha permite recuperar la movilidad que el obstáculo intenta restringir. Pero desde el nivel de conducción no basta con que exista un paso; ese paso debe responder a la maniobra que se está desarrollando y permitir que la fuerza continúe operando en condiciones adecuadas. El tiempo tiene bastante importancia. Una fuerza detenida frente a un obstáculo pierde libertad de acción y puede quedar en una situación desfavorable. Entonces, si mediante un mejor reconocimiento conseguimos anticipar la presencia del campo minado y preparar con mayor oportunidad la intervención de Ingeniería, estamos contribuyendo a reducir ese efecto sobre la maniobra. Allí considero que el UAS puede aportar, principalmente permitiendo que algunas decisiones se adopten antes.	
SC11. Tecnológicos	**P7. ¿Qué necesidades presentan las tareas desarrolladas durante una operación de apertura de brechas y qué características tecnológicas debería reunir un UAS para responder a ellas?**		**UA11**
	E01	Desde el punto de vista de ingeniería, necesitamos principalmente información confiable y oportuna sobre el obstáculo. Entonces el UAS tendría que tener una autonomía que le permita reconocer el sector requerido, trabajar con sensores adecuados y transmitir información mientras se desarrolla la operación. También debería poder operar en las condiciones del terreno donde se ejecuta la maniobra. No tendría sentido contar con un sistema muy avanzado si la vegetación, el clima o la distancia hacen que no pueda cumplir la tarea. La tecnología debería seleccionarse de acuerdo con lo que necesitamos hacer durante el brechado y no solamente porque el equipo tenga mayores prestaciones.	
	E02	Primero tendría que definirse la tarea y después escoger la plataforma. Muchas veces se hace al revés: se dispone de un dron y luego se busca dónde emplearlo. Para este tipo de operación necesitaríamos una plataforma estable, con autonomía suficiente para permanecer sobre el área de interés y con capacidad para transportar los sensores que realmente se requieran. También tendría que considerarse la precisión de navegación, la calidad del enlace y la posibilidad de operar en condiciones de viento, polvo o temperaturas variables. Si queremos incorporar sensores más especializados, la capacidad de carga útil se vuelve importante. Entonces no hablaría de un UAS ideal para todo, sino de un sistema cuyas prestaciones respondan a la misión concreta que se le asigne.	
	E03	Yo empezaría por establecer qué queremos detectar y en qué condiciones. Recién después determinaría las características del UAS y del sensor. Si necesitamos solamente reconocimiento visual, las exigencias	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		serán unas; si pretendemos transportar sensores especializados, las necesidades de carga, estabilidad y autonomía van a ser diferentes. También hay que considerar la resolución de la información. Volar más alto permite cubrir un área mayor, pero puede disminuir el detalle que obtenemos. Volar más bajo puede mejorar determinados registros, pero también modifica otras condiciones de la misión. Entonces siempre existe un equilibrio. La plataforma debería tener capacidad suficiente para transportar el sensor requerido y mantener condiciones adecuadas para obtener datos que realmente puedan ser analizados.	
	E04	Yo no establecería primero las características del UAS. Empezaría por las necesidades de información que presenta la operación. Por ejemplo, qué sector necesitamos reconocer, qué queremos identificar, durante cuánto tiempo necesitamos mantener observación y con qué oportunidad debe llegar esa información. A partir de ahí se puede determinar qué plataforma y qué sensores son adecuados. En términos generales, el sistema debería tener suficiente autonomía, capacidad para operar con los sensores requeridos y un enlace confiable. También tendría que adaptarse a las condiciones del área donde se desarrolla la operación. Pero considero que la característica principal debería ser su capacidad para cumplir la tarea asignada. Tener mayores prestaciones no necesariamente significa que sea el sistema más conveniente para una operación específica.	
	E05	Considero que el requerimiento debe partir de la necesidad operacional. Necesitamos información oportuna del obstáculo, mantener observación durante determinados momentos y evitar, en lo posible, exponer personal para obtener información que puede conseguirse por otros medios. A partir de ahí los especialistas podrán establecer qué tipo de UAS y sensores responden mejor. Desde mi perspectiva, el sistema debería ser suficientemente flexible para acompañar el ritmo de la operación. No sería conveniente depender de un medio que requiera demasiado tiempo para prepararse o cuya información llegue cuando la decisión ya fue tomada. Autonomía, alcance, sensores y comunicaciones son importantes, pero deben traducirse en disponibilidad y oportunidad para quien está conduciendo la maniobra.	
	E06	Considero que primero debe existir una definición clara de la necesidad. Si queremos reconocer un área amplia tendremos determinados requerimientos; si queremos observar con mayor detalle un sector reducido o emplear un sensor especializado, probablemente necesitaremos otras características. Por eso no creo que exista una sola plataforma que necesariamente responda a todas las fases. El UAS debe tener autonomía, capacidad de carga, navegación y comunicaciones adecuadas para la tarea que va a realizar, pero también debe ser sostenible dentro de la organización. No serviría adquirir una capacidad muy sofisticada si después resulta difícil mantenerla, entrenar al personal o disponer de ella cuando se necesita. La solución tecnológica tiene que ser operacionalmente útil y también viable para la fuerza.	
SC12. De la tarea		**P7. ¿Qué necesidades presentan las tareas desarrolladas durante una operación de apertura de brechas y qué características tecnológicas debería reunir un UAS para responder a ellas?**	**UA12**
	E01	Desde el punto de vista de ingeniería, necesitamos principalmente información confiable y oportuna sobre el obstáculo. Entonces el UAS tendría que tener una autonomía que le permita reconocer el sector	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		requerido, trabajar con sensores adecuados y transmitir información mientras se desarrolla la operación. También debería poder operar en las condiciones del terreno donde se ejecuta la maniobra. No tendría sentido contar con un sistema muy avanzado si la vegetación, el clima o la distancia hacen que no pueda cumplir la tarea. La tecnología debería seleccionarse de acuerdo con lo que necesitamos hacer durante el brechado y no solamente porque el equipo tenga mayores prestaciones.	
	E02	Primero tendría que definirse la tarea y después escoger la plataforma. Muchas veces se hace al revés: se dispone de un dron y luego se busca dónde emplearlo. Para este tipo de operación necesitaríamos una plataforma estable, con autonomía suficiente para permanecer sobre el área de interés y con capacidad para transportar los sensores que realmente se requieran. También tendría que considerarse la precisión de navegación, la calidad del enlace y la posibilidad de operar en condiciones de viento, polvo o temperaturas variables. Si queremos incorporar sensores más especializados, la capacidad de carga útil se vuelve importante. Entonces no hablaría de un UAS ideal para todo, sino de un sistema cuyas prestaciones respondan a la misión concreta que se le asigne.	
	E03	Yo empezaría por establecer qué queremos detectar y en qué condiciones. Recién después determinaría las características del UAS y del sensor. Si necesitamos solamente reconocimiento visual, las exigencias serán unas; si pretendemos transportar sensores especializados, las necesidades de carga, estabilidad y autonomía van a ser diferentes. También hay que considerar la resolución de la información. Volar más alto permite cubrir un área mayor, pero puede disminuir el detalle que obtenemos. Volar más bajo puede mejorar determinados registros, pero también modifica otras condiciones de la misión. Entonces siempre existe un equilibrio. La plataforma debería tener capacidad suficiente para transportar el sensor requerido y mantener condiciones adecuadas para obtener datos que realmente puedan ser analizados.	
	E04	Yo no establecería primero las características del UAS. Empezaría por las necesidades de información que presenta la operación. Por ejemplo, qué sector necesitamos reconocer, qué queremos identificar, durante cuánto tiempo necesitamos mantener observación y con qué oportunidad debe llegar esa información. A partir de ahí se puede determinar qué plataforma y qué sensores son adecuados. En términos generales, el sistema debería tener suficiente autonomía, capacidad para operar con los sensores requeridos y un enlace confiable. También tendría que adaptarse a las condiciones del área donde se desarrolla la operación. Pero considero que la característica principal debería ser su capacidad para cumplir la tarea asignada. Tener mayores prestaciones no necesariamente significa que sea el sistema más conveniente para una operación específica.	
	E05	Considero que el requerimiento debe partir de la necesidad operacional. Necesitamos información oportuna del obstáculo, mantener observación durante determinados momentos y evitar, en lo posible, exponer personal para obtener información que puede conseguirse por otros medios. A partir de ahí los especialistas podrán establecer qué tipo de UAS y sensores responden mejor. Desde mi perspectiva, el sistema debería ser suficientemente flexible para acompañar el ritmo de la operación. No sería conveniente depender de	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		un medio que requiera demasiado tiempo para prepararse o cuya información llegue cuando la decisión ya fue tomada. Autonomía, alcance, sensores y comunicaciones son importantes, pero deben traducirse en disponibilidad y oportunidad para quien está conduciendo la maniobra.	
	E06	Considero que primero debe existir una definición clara de la necesidad. Si queremos reconocer un área amplia tendremos determinados requerimientos; si queremos observar con mayor detalle un sector reducido o emplear un sensor especializado, probablemente necesitaremos otras características. Por eso no creo que exista una sola plataforma que necesariamente responda a todas las fases. El UAS debe tener autonomía, capacidad de carga, navegación y comunicaciones adecuadas para la tarea que va a realizar, pero también debe ser sostenible dentro de la organización. No serviría adquirir una capacidad muy sofisticada si después resulta difícil mantenerla, entrenar al personal o disponer de ella cuando se necesita. La solución tecnológica tiene que ser operacionalmente útil y también viable para la fuerza.	
SC13. Información y comunicaciones	**P8. ¿Qué requerimientos de información y comunicaciones deberían considerarse para que la información obtenida por el UAS pueda ser utilizada durante la operación?**		**UA13**
	E01	La información tiene que llegar a quien realmente la necesita y hacerlo a tiempo. Si el UAS detecta una posible amenaza, pero esa información llega cuando el personal ya está ingresando al sector, pierde gran parte de su utilidad. También debería existir un enlace confiable entre el operador del UAS y los elementos que conducen el brechado. Considero importante que la información pueda verse sobre un mapa o alguna representación común del terreno, para que todos comprendan a qué punto se está haciendo referencia. Además, debe existir un procedimiento claro para comunicar una detección o una variación importante durante la operación.	
	E02	Para mí, uno de los puntos críticos es el enlace. Podemos tener una buena aeronave y un excelente sensor, pero si no podemos transmitir o recuperar oportunamente la información, el sistema pierde utilidad operacional. Se necesita una comunicación estable, con el alcance suficiente y con medidas que reduzcan la posibilidad de interferencia o pérdida del enlace. También debe definirse qué información se transmite en tiempo real y cuál puede procesarse posteriormente. No todo necesita llegar inmediatamente. Una alerta sobre un posible peligro sí debería comunicarse rápido; un producto cartográfico más elaborado puede requerir procesamiento. Lo importante es establecer esa diferencia y evitar saturar a quienes están conduciendo la operación con información que todavía no ha sido analizada.	
	E03	Consideraría dos cosas: transmisión y manejo de la información. No todo lo que obtiene el UAS tiene que enviarse inmediatamente. El video puede transmitirse para mantener una visión general, pero determinados productos necesitan ser procesados antes de que tengan utilidad. También debe existir un formato común para que la información pueda ser compartida. Si el operador trabaja con un sistema y el elemento de ingeniería utiliza otro que no puede visualizar esos datos, tendremos un problema. La ubicación de los puntos identificados debe conservarse correctamente y la información tiene que llegar	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		acompañada de una explicación sencilla de lo que representa. Para mí, interoperabilidad y oportunidad son más importantes que producir una gran cantidad de datos.	
	E04	Debe existir un flujo de información previamente establecido. Hay que saber quién solicita la información, quién la obtiene, quién la analiza y quién necesita recibirla. Si eso se improvisa durante la operación, podemos perder tiempo. También considero necesario distinguir la información urgente de aquella que puede esperar un procesamiento mayor. Si aparece un elemento que modifica una decisión inmediata, esa información debe llegar rápidamente. En cambio, otros productos pueden incorporarse al análisis general. Las comunicaciones deben permitir ese intercambio y, sobre todo, asegurar que el elemento de ingeniería y quien conduce la operación trabajen con una situación lo más actualizada posible.	
	E05	La oportunidad es fundamental. Una información muy precisa que llega tarde puede tener menos valor que una información suficientemente confiable que llega cuando todavía podemos tomar una decisión. Por eso debería existir un flujo de información corto y claramente establecido. También debemos evitar que toda la información producida por el UAS llegue directamente al comandante. Alguien debe analizarla y determinar qué es relevante. Si durante una operación se transmiten permanentemente imágenes, coordenadas y alertas sin priorización, podemos terminar generando más confusión. La comunicación debería permitir que los datos importantes lleguen rápidamente y que los productos que requieren mayor análisis sigan otro proceso. Para mí, el desafío no es solamente obtener información, sino saber distribuirla.	
	E06	Tiene que existir continuidad desde que se obtiene el dato hasta que alguien lo utiliza para decidir o actuar. Si una parte de esa cadena falla, podemos tener una excelente capacidad de observación que finalmente no produzca ningún efecto. Las comunicaciones deben permitir transmitir la información con la oportunidad que requiere la operación, pero también debe existir un criterio para priorizarla. No todo lo observado necesita llegar al mismo nivel. Ingeniería puede requerir información bastante específica del obstáculo, mientras que el comandante quizá solamente necesite conocer aquellos cambios que afectan su maniobra. Por eso considero necesario definir previamente qué información necesita cada usuario y establecer cómo llegará hasta él.	
SC14. Personal		**P9. ¿Qué requerimientos relacionados con el personal y la organización deberían considerarse para incorporar el empleo de UAS en una operación de apertura de brechas?**	**UA14**
	E01	No bastaría con entregar un UAS a una unidad de ingeniería. Se necesita personal capacitado para operarlo, pero también personal de ingeniería que entienda qué información puede proporcionar y cómo aprovecharla. El operador debe conocer qué necesita el elemento que está realizando el brechado y el personal de ingeniería debe saber qué puede y qué no puede obtener el sistema. También habría que establecer quién controla el UAS, a quién entrega la información y cómo se coordina su empleo con los demás elementos. Si eso no está organizado desde el planeamiento, se corre el riesgo de tener un medio disponible, pero emplearlo de manera aislada.	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
	E02	Se necesita una tripulación capacitada, pero no solamente para volar. El operador tiene que comprender la misión, conocer el sensor y saber qué información está buscando. También debería existir alguien capaz de interpretar los productos obtenidos, porque el piloto no necesariamente será especialista en minas o en operaciones de ingeniería. Ahí considero necesaria la coordinación con el personal de ingeniería. Organizacionalmente tendría que definirse quién solicita la misión, quién establece las prioridades de reconocimiento, quién recibe el producto y quién toma la decisión con esa información. Si esos aspectos no están claros, el UAS puede terminar volando y obteniendo imágenes que después nadie utiliza realmente.	
	E03	Considero que se necesitan perfiles distintos trabajando de manera coordinada. Está el personal que opera la aeronave, el que conoce los sensores y procesa la información, y el especialista de ingeniería que sabe qué significa esa información dentro del brechado. No necesariamente una sola persona tiene que dominar las tres cosas. El problema aparecería si cada uno trabaja por separado. El analista podría producir información técnicamente correcta que no responda a lo que necesita ingeniería. Por eso debería existir coordinación desde antes de iniciar la misión, definiendo qué se busca, cómo se va a representar y quién recibirá el producto. También se necesita entrenamiento conjunto, porque el lenguaje técnico de sensores tiene que convertirse en información comprensible para el usuario operacional.	
	E04	Para mí, el principal requerimiento es que el UAS esté integrado al planeamiento desde el inicio. Si recién se coordina su empleo cuando aparece el obstáculo, probablemente no vamos a aprovecharlo correctamente. Tiene que existir personal capacitado para operarlo y analizar sus productos, pero también procedimientos que permitan relacionar ese trabajo con las necesidades de ingeniería. Además, sería conveniente que el personal de UAS y de ingeniería entrene conjuntamente. El operador tiene que comprender qué información necesita el ingeniero y el ingeniero debe conocer las posibilidades y limitaciones del sistema. Organizacionalmente también debe quedar claro quién establece las prioridades de empleo y cómo se incorpora la información obtenida dentro del proceso de toma de decisiones.	
	E05	Considero que debería existir una relación clara entre el elemento que opera el UAS, Ingeniería y el Estado Mayor. Cada uno tiene una necesidad diferente. El operador conoce el sistema, Ingeniería conoce el problema del obstáculo y el Estado Mayor tiene que relacionar todo eso con la maniobra. No creo que la solución sea que todos hagan de todo. Lo importante es establecer responsabilidades y procedimientos de coordinación. También sería necesario entrenar esa integración antes de una operación. Si el primer momento en que Ingeniería trabaja con el equipo UAS es cuando ya tiene el campo minado delante, seguramente aparecerán dificultades. La organización debería permitir que esas capacidades se conozcan y trabajen conjuntamente desde el planeamiento.	
	E06	Este punto, para mí, es tan importante como la tecnología. Podemos disponer del UAS y del sensor, pero si no existe personal preparado y una organización que permita emplearlos correctamente, la capacidad quedará incompleta. Se necesitan operadores capacitados, personal que pueda analizar la información y	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		especialistas de Ingeniería capaces de utilizar ese producto dentro del brechado. Además, esos elementos deberían entrenar juntos. No basta con que cada uno domine su especialidad de manera independiente. También tendría que definirse dónde se integra esta capacidad, quién establece sus prioridades, cómo se coordina su empleo y quién es responsable de distribuir la información obtenida. Esos procedimientos deberían estar establecidos antes de una operación y no resolverse recién cuando aparece la necesidad.	
SC15. Organizacionales		**P9. ¿Qué requerimientos relacionados con el personal y la organización deberían considerarse para incorporar el empleo de UAS en una operación de apertura de brechas?**	**UA15**
	E01	No bastaría con entregar un UAS a una unidad de ingeniería. Se necesita personal capacitado para operarlo, pero también personal de ingeniería que entienda qué información puede proporcionar y cómo aprovecharla. El operador debe conocer qué necesita el elemento que está realizando el brechado y el personal de ingeniería debe saber qué puede y qué no puede obtener el sistema. También habría que establecer quién controla el UAS, a quién entrega la información y cómo se coordina su empleo con los demás elementos. Si eso no está organizado desde el planeamiento, se corre el riesgo de tener un medio disponible, pero emplearlo de manera aislada.	
	E02	Se necesita una tripulación capacitada, pero no solamente para volar. El operador tiene que comprender la misión, conocer el sensor y saber qué información está buscando. También debería existir alguien capaz de interpretar los productos obtenidos, porque el piloto no necesariamente será especialista en minas o en operaciones de ingeniería. Ahí considero necesaria la coordinación con el personal de ingeniería. Organizacionalmente tendría que definirse quién solicita la misión, quién establece las prioridades de reconocimiento, quién recibe el producto y quién toma la decisión con esa información. Si esos aspectos no están claros, el UAS puede terminar volando y obteniendo imágenes que después nadie utiliza realmente.	
	E03	Considero que se necesitan perfiles distintos trabajando de manera coordinada. Está el personal que opera la aeronave, el que conoce los sensores y procesa la información, y el especialista de ingeniería que sabe qué significa esa información dentro del brechado. No necesariamente una sola persona tiene que dominar las tres cosas. El problema aparecería si cada uno trabaja por separado. El analista podría producir información técnicamente correcta que no responda a lo que necesita ingeniería. Por eso debería existir coordinación desde antes de iniciar la misión, definiendo qué se busca, cómo se va a representar y quién recibirá el producto. También se necesita entrenamiento conjunto, porque el lenguaje técnico de sensores tiene que convertirse en información comprensible para el usuario operacional.	
	E04	Para mí, el principal requerimiento es que el UAS esté integrado al planeamiento desde el inicio. Si recién se coordina su empleo cuando aparece el obstáculo, probablemente no vamos a aprovecharlo correctamente. Tiene que existir personal capacitado para operarlo y analizar sus productos, pero también procedimientos que permitan relacionar ese trabajo con las necesidades de ingeniería. Además, sería conveniente que el personal de UAS y de ingeniería entrene conjuntamente. El operador tiene que	

Subcategoría	Código	Testimonios de los entrevistados	UU. de análisis
		comprender qué información necesita el ingeniero y el ingeniero debe conocer las posibilidades y limitaciones del sistema. Organizacionalmente también debe quedar claro quién establece las prioridades de empleo y cómo se incorpora la información obtenida dentro del proceso de toma de decisiones.	
	E05	Considero que debería existir una relación clara entre el elemento que opera el UAS, Ingeniería y el Estado Mayor. Cada uno tiene una necesidad diferente. El operador conoce el sistema, Ingeniería conoce el problema del obstáculo y el Estado Mayor tiene que relacionar todo eso con la maniobra. No creo que la solución sea que todos hagan de todo. Lo importante es establecer responsabilidades y procedimientos de coordinación. También sería necesario entrenar esa integración antes de una operación. Si el primer momento en que Ingeniería trabaja con el equipo UAS es cuando ya tiene el campo minado delante, seguramente aparecerán dificultades. La organización debería permitir que esas capacidades se conozcan y trabajen conjuntamente desde el planeamiento.	
	E06	Este punto, para mí, es tan importante como la tecnología. Podemos disponer del UAS y del sensor, pero si no existe personal preparado y una organización que permita emplearlos correctamente, la capacidad quedará incompleta. Se necesitan operadores capacitados, personal que pueda analizar la información y especialistas de Ingeniería capaces de utilizar ese producto dentro del brechado. Además, esos elementos deberían entrenar juntos. No basta con que cada uno domine su especialidad de manera independiente. También tendría que definirse dónde se integra esta capacidad, quién establece sus prioridades, cómo se coordina su empleo y quién es responsable de distribuir la información obtenida. Esos procedimientos deberían estar establecidos antes de una operación y no resolverse recién cuando aparece la necesidad.	

Nota. La tabla presenta la organización de la información obtenida mediante las seis entrevistas semiestructuradas***.***

Tabla 4

Definición de categorías a partir de la entrevista

Categorías	Subcategorías	Síntesis testimonial de los entrevistados	UU. de análisis
C1. Capacidades de las aeronaves no tripuladas	**SC01. Reconocimiento y vigilancia**	Los entrevistados coincidieron en que los UAS pueden ampliar el reconocimiento previo de un campo minado y mantener la vigilancia durante la apertura de la brecha. Destacaron la posibilidad de observar el terreno, los accesos, los obstáculos y otros sectores de interés antes de comprometer directamente al personal de Ingeniería. También señalaron que esta capacidad puede ayudar a actualizar la situación durante el brechado y reducir parte de la incertidumbre existente. Sin embargo, precisaron que la observación aérea constituye una fuente adicional de información y no significa que el reconocimiento del campo minado esté resuelto, debido a que sus resultados	**UA01**

Categorías	Subcategorías	Síntesis testimonial de los entrevistados	UU. de análisis
		dependen de los sensores empleados, las condiciones del terreno y la interpretación posterior de la información obtenida.	
	SC02. Sensores y sistemas de detección	Los participantes señalaron que no existe un único sensor capaz de responder a todas las condiciones que pueden presentarse en un campo minado. Mencionaron el empleo de cámaras electroópticas o de alta resolución, sensores térmicos, magnetómetros y sistemas de radar o detección de elementos enterrados como alternativas que pueden aportar información diferente. A la vez, indicaron que la utilidad de cada sensor depende del tipo de amenaza, el material de la mina, su profundidad, la vegetación, la humedad y las características del terreno. Por ello, consideraron más conveniente combinar distintos medios y seleccionar los sensores de acuerdo con la tarea y las condiciones de empleo, evitando depender exclusivamente de una tecnología.	**UA02**
	SC03. Detección e identificación de amenazas	Los testimonios mostraron una posición cautelosa respecto de la capacidad de los UAS para detectar e identificar minas. Los entrevistados diferenciaron entre observar una amenaza, identificar un indicio o anomalía y confirmar la presencia de una mina. Señalaron que los sensores pueden contribuir a reconocer alteraciones visibles, diferencias térmicas, señales magnéticas u otros indicios, pero sus resultados presentan limitaciones y pueden generar falsos positivos o dejar elementos sin detectar. En ese sentido, resaltaron la necesidad de contrastar la información, combinar diferentes fuentes y confirmar los indicios mediante otros medios cuando corresponda. También advirtieron que la ausencia de una detección no permite considerar automáticamente que un sector se encuentra libre de minas.	**UA03**
	SC04. Procesamiento y análisis de información	Los entrevistados señalaron que la utilidad operacional del UAS no depende solamente de obtener imágenes, videos o datos, sino de convertirlos en información comprensible para quienes participan en el planeamiento y ejecución del brechado. Consideraron necesario ordenar y analizar los datos, identificar puntos o sectores de interés y diferenciar aquello que ha sido confirmado de lo que todavía constituye un indicio. También destacaron la conveniencia de indicar el nivel de confianza de la información y evitar trasladar grandes cantidades de datos sin procesar al comandante o al personal de Ingeniería. Desde esta perspectiva, el producto obtenido debería mostrar de manera sencilla qué se observó, dónde se encuentra y qué importancia puede tener para la operación.	**UA04**
	SC05. Georreferenciación y mapeo	Los participantes consideraron necesario que los puntos y sectores identificados por los UAS puedan ubicarse sobre una referencia cartográfica común. Señalaron que la georreferenciación permitiría relacionar los indicios observados con el terreno, el obstáculo, la ubicación de las fuerzas y la dirección prevista de la maniobra. Asimismo,	**UA05**

Categorías	Subcategorías	Síntesis testimonial de los entrevistados	UU. de análisis
		indicaron que las coordenadas, imágenes georreferenciadas o productos cartográficos facilitan que la información obtenida por el UAS sea comprendida y utilizada por el elemento de Ingeniería y el Estado Mayor. Los testimonios también resaltaron que esta representación debe diferenciar claramente los indicios de aquellos puntos que hayan sido confirmados, evitando presentar una apreciación como si se tratara de una certeza.	
C2. Operaciones de apertura de brechas en campos minados	**SC06. Reconocimiento del obstáculo**	Los entrevistados señalaron que el reconocimiento debe permitir comprender las características del campo minado y su relación con la operación. Entre la información considerada necesaria mencionaron su ubicación y extensión aproximada, las características del terreno, los accesos, los posibles sectores de paso, las amenazas presentes y las zonas donde existan indicios que requieran mayor atención. También destacaron la necesidad de conocer qué información todavía falta y cómo el obstáculo puede afectar el movimiento de la fuerza. Desde las diferentes especialidades se coincidió en que el reconocimiento debe responder a una necesidad concreta de Ingeniería y del planeamiento, evitando convertirse solamente en una acumulación de datos.	**UA06**
	SC07. Reducción del obstáculo y apertura de la brecha	Los testimonios mostraron que la información obtenida durante el reconocimiento debe servir para orientar la intervención de Ingeniería. Los participantes relacionaron esta información con la selección del sector donde conviene establecer la brecha, los medios que serán necesarios, las condiciones de aproximación y la protección del personal encargado de la reducción. También señalaron que no puede esperarse una certeza absoluta sobre la distribución de las minas, por lo que el reconocimiento debe continuar mientras se desarrolla la operación. En este contexto, el UAS fue considerado como un medio que puede proporcionar información previa y actualizar la situación, pero no como sustituto de los medios de reducción ni de los procedimientos propios del brechado.	**UA07**
	SC08. Seguridad y protección de la fuerza	Los entrevistados reconocieron que el empleo de UAS puede reducir determinadas exposiciones, principalmente al permitir una observación inicial sin ingresar inmediatamente con personal al área de mayor riesgo. Sin embargo, coincidieron en que el brechado continúa siendo una actividad peligrosa y que la tecnología no reemplaza las medidas de seguridad existentes. Destacaron la necesidad de mantener procedimientos de protección, coordinación entre los elementos participantes, control del movimiento y una comprensión común de los sectores reconocidos y aquellos que todavía presentan incertidumbre. También advirtieron que una interpretación incorrecta de los datos o una confianza excesiva en los sensores puede generar una falsa sensación de seguridad y aumentar el riesgo para la fuerza.	**UA08**

Categorías	Subcategorías	Síntesis testimonial de los entrevistados	UU. de análisis
	SC09. Movilidad	Los participantes relacionaron directamente la apertura de la brecha con la recuperación de la libertad de movimiento que el campo minado busca restringir. Señalaron que el objetivo no consiste solamente en detectar o retirar minas, sino en generar un paso que pueda ser utilizado por los elementos de la fuerza para continuar su desplazamiento. También indicaron que la información obtenida con anticipación puede ayudar a orientar mejor los medios de Ingeniería hacia sectores con condiciones más favorables. En ese sentido, precisaron que el UAS no produce movilidad por sí mismo, pero puede contribuir a que el reconocimiento y la preparación del brechado se desarrollen con mayor conocimiento de la situación.	**UA09**
	SC10. Apoyo a la maniobra	Los testimonios permitieron reconocer que la apertura de la brecha adquiere sentido en función de la maniobra que debe continuar. Los entrevistados destacaron que un obstáculo puede retrasar a la fuerza, modificar su dirección, disminuir el ritmo de la operación o limitar su libertad de acción. Por ello, señalaron que no basta con establecer un paso, sino que este debe encontrarse en un sector que responda a las necesidades de la maniobra y abrirse con la oportunidad requerida. Desde esta perspectiva, consideraron que el UAS puede apoyar de manera indirecta al proporcionar información anticipada y actualizada que permita preparar la intervención de Ingeniería antes de que el obstáculo produzca un efecto mayor sobre la operación.	**UA10**
C3. Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas	**SC11. Requerimientos Tecnológicos**	Los entrevistados señalaron que las características tecnológicas del UAS deben responder a las necesidades concretas de la operación y no seleccionarse únicamente por disponer de mayores prestaciones. Entre los aspectos mencionados se encontraron la autonomía, el alcance, la estabilidad, la capacidad de carga útil, la precisión de navegación, los sensores, la calidad del enlace y la posibilidad de operar frente a condiciones de viento, polvo, temperatura, vegetación u otras características del terreno. También se destacó la necesidad de considerar la sostenibilidad del sistema, su mantenimiento y la posibilidad real de disponer de él cuando sea requerido. Los participantes coincidieron en que no existe una plataforma ideal para todas las situaciones y que su utilidad depende de su capacidad para cumplir la tarea asignada.	**UA11**
	SC12. Requerimientos de la tarea	Los participantes coincidieron en que primero debe definirse qué necesita realizar la fuerza y luego determinar qué UAS y sensores responden mejor a esa necesidad. Señalaron que resulta necesario precisar qué sector se busca reconocer, qué amenaza o indicio se pretende identificar, qué nivel de detalle se requiere, cuánto tiempo debe mantenerse la observación y con qué oportunidad debe llegar la información. También indicaron que las exigencias tecnológicas cambian según se trate de reconocimiento visual, cobertura de un área amplia, observación detallada o empleo de sensores	**UA12**

Categorías	Subcategorías	Síntesis testimonial de los entrevistados	UU. de análisis
		especializados. De esta manera, los testimonios mostraron que la selección del sistema debe partir de la tarea operacional y de la información requerida durante el brechado.	
	SC13. Requerimientos de Información y comunicaciones	Los entrevistados señalaron que la información obtenida por el UAS debe llegar de manera oportuna al usuario que realmente la necesita. Consideraron necesario contar con enlaces confiables, un flujo de información previamente establecido y criterios que permitan distinguir aquello que debe transmitirse inmediatamente de los productos que requieren mayor procesamiento. También destacaron la importancia de trabajar con formatos comunes, mantener correctamente la ubicación de los puntos identificados y evitar saturar al comandante con imágenes, coordenadas o datos que todavía no han sido analizados. Los testimonios mostraron que la utilidad del sistema depende de mantener continuidad desde la obtención del dato hasta su empleo por Ingeniería, el Estado Mayor o quien deba adoptar una decisión.	**UA13**
	SC14. Requerimientos de Personal	Los participantes señalaron que el empleo de UAS requiere personal con funciones diferentes pero complementarias. Identificaron la necesidad de operadores capacitados para manejar la aeronave y comprender la misión, personal capaz de emplear los sensores y procesar la información, y especialistas de Ingeniería que puedan interpretar esos productos dentro de las necesidades del brechado. También resaltaron que no es necesario que una sola persona domine todas estas funciones, pero sí que exista coordinación entre ellas. Los entrevistados destacaron además la importancia del entrenamiento conjunto, de manera que el personal UAS comprenda las necesidades de Ingeniería y que los ingenieros conozcan las posibilidades y limitaciones reales del sistema.	**UA14**
	SC15. Requerimientos Organizacionales	Los testimonios mostraron que incorporar un UAS no consiste solamente en disponer de una aeronave y sus sensores. Los participantes señalaron la necesidad de definir quién solicita la misión, quién establece las prioridades, quién controla el sistema, quién analiza la información, quién recibe los productos y cómo estos se incorporan al planeamiento y la conducción de la operación. Asimismo, resaltaron que la integración debe comenzar desde el planeamiento y acompañarse de procedimientos de coordinación entre el elemento UAS, Ingeniería y el Estado Mayor. También consideraron necesario entrenar previamente esta relación, evitando que la coordinación se improvise cuando el campo minado ya se encuentra frente a la fuerza.	**UA15**

Tabla 5

Definición de categorías a partir de la observación

Categorías	Subcategorías	Evidencias de la observación	UU. de análisis
C1. Capacidades de las aeronaves no tripuladas	**SC01. Reconocimiento y vigilancia**	En las actividades donde se emplearon UAS se observó su utilización para reconocer el terreno, mantener observación sobre sectores de interés y obtener imágenes que permitieron ampliar la información disponible sin aproximar inicialmente al personal. Estas actividades mostraron su utilidad como medio de reconocimiento y vigilancia. Sin embargo, el empleo observado estuvo orientado al reconocimiento general del terreno y no correspondió a una operación integrada de reconocimiento de campos minados o apertura de brechas.	**UA16**
	SC02. Sensores y sistemas de detección	Durante las actividades con UAS se observó principalmente el empleo de medios de obtención de imágenes y reconocimiento visual. No se registró el uso de sensores especializados para la detección de minas u objetos enterrados, como sistemas magnéticos, térmicos especializados o radares de penetración. Esta situación permitió reconocer que las capacidades observadas respondieron al reconocimiento general del terreno, mientras que una aplicación orientada específicamente a campos minados requeriría capacidades de detección adicionales.	**UA17**
	SC03. Detección e identificación de amenazas	Las actividades observadas permitieron identificar características visibles del terreno, obstáculos y sectores que podían resultar de interés para el reconocimiento. No se registró la detección o confirmación de minas enterradas mediante UAS. La información obtenida estuvo limitada a elementos observables en superficie, por lo que no fue posible considerar una ausencia de indicios visibles como confirmación de que un sector estuviera libre de amenazas. En las actividades de Ingeniería, la identificación de obstáculos se realizó mediante el reconocimiento y los procedimientos propios del personal participante.	**UA18**
	SC04. Procesamiento y análisis de información	En las actividades vinculadas con UAS se observó la obtención y visualización de imágenes del terreno, cuya utilidad dependió de su interpretación y de la posibilidad de relacionarlas con las necesidades de quienes empleaban la información. No se registró un procedimiento específico de procesamiento orientado a transformar datos provenientes del UAS en productos destinados al brechado de campos minados. En las actividades de planeamiento y coordinación también se evidenció la necesidad de contar con información organizada y comprensible para apoyar las decisiones relacionadas con el terreno, los obstáculos y la movilidad.	**UA19**
	SC05. Georreferenciación y mapeo	En los registros relacionados con el empleo de UAS se observó que la información obtenida podía relacionarse con la ubicación de sectores y puntos de interés del	**UA20**

Categorías	Subcategorías	Evidencias de la observación	UU. de análisis
		terreno. Sin embargo, no se evidenció la elaboración de un producto georreferenciado específicamente orientado a representar minas, indicios de amenazas o sectores destinados a la apertura de una brecha. Las actividades de planeamiento mostraron la necesidad de ubicar correctamente la información del terreno y los obstáculos sobre una referencia común para que pueda ser utilizada por los diferentes elementos participantes.	
C2. Operaciones de apertura de brechas en campos minados	**SC06. Reconocimiento del obstáculo**	En las actividades de Ingeniería se observó que el reconocimiento del obstáculo constituye una tarea previa necesaria para conocer sus características, las condiciones del terreno, los accesos y los sectores que pueden afectar el movimiento. Los registros mostraron que esta información orienta las acciones posteriores y permite reducir parte de la incertidumbre antes de intervenir. En estas actividades no se observó el empleo integrado de UAS para realizar dicho reconocimiento, aunque las necesidades de información identificadas guardaron relación con las capacidades de observación registradas en las actividades donde sí fueron empleados estos sistemas.	**UA21**
	SC07. Reducción del obstáculo y apertura de la brecha	En las actividades de entrenamiento de Ingeniería se observaron procedimientos relacionados con la preparación y ejecución de acciones destinadas a superar obstáculos y mantener la movilidad. Estas actividades evidenciaron la necesidad de contar previamente con información sobre el obstáculo, los sectores de intervención y las condiciones existentes antes de iniciar la reducción. No se registró la participación de UAS durante estos procedimientos ni una apertura de brecha apoyada directamente por información proveniente de estos sistemas.	**UA22**
	SC08. Seguridad y protección de la fuerza	Las actividades observadas mostraron que el reconocimiento y la superación de obstáculos implican exposición del personal y requieren mantener medidas de seguridad, coordinación y control durante la ejecución. En los registros donde se emplearon UAS se evidenció la posibilidad de obtener información del terreno a distancia, reduciendo la necesidad de una aproximación inicial para determinadas tareas de observación. Sin embargo, no se observó que esta capacidad sustituyera los procedimientos de seguridad propios de Ingeniería ni que eliminara los riesgos asociados con la intervención directa sobre un obstáculo.	**UA23**
	SC09. Movilidad	En las actividades de Ingeniería, planeamiento y coordinación se observó que el reconocimiento y la superación de obstáculos estuvieron relacionados con la necesidad de mantener o recuperar la movilidad de los elementos participantes. La información sobre el terreno, los accesos y las características del obstáculo permitió orientar las acciones destinadas a facilitar el movimiento. No se registró una	**UA24**

Categorías	Subcategorías	Evidencias de la observación	UU. de análisis
		recuperación de la movilidad producida directamente por el empleo de UAS; su posible aporte se relacionó con la obtención previa de información que podría apoyar la preparación de las acciones de Ingeniería.	
	SC10. Apoyo a la maniobra	En los registros de planeamiento y coordinación se evidenció que las actividades de Ingeniería relacionadas con los obstáculos no se desarrollan de manera aislada, sino en función del movimiento y de las necesidades de la fuerza. La disponibilidad o ausencia de información oportuna sobre el terreno y los obstáculos influyó en la capacidad para coordinar y preparar las acciones necesarias. Aunque no se observó un UAS integrado directamente al brechado, las actividades examinadas permitieron reconocer la importancia de disponer anticipadamente de información que contribuya a evitar demoras y apoyar la continuidad de la maniobra.	**UA25**
C3. Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas	**SC11. Tecnológicos**	En las actividades donde se emplearon UAS se observaron capacidades orientadas principalmente al reconocimiento visual y a la obtención de información general del terreno. No se registró el empleo de sensores especializados para campos minados ni una configuración tecnológica preparada específicamente para apoyar la apertura de brechas. Las situaciones observadas mostraron que una posible incorporación a estas tareas requeriría relacionar las características de la plataforma, los sensores y las condiciones de operación con las necesidades concretas que presenta el reconocimiento del obstáculo y el brechado.	**UA26**
	SC12. De la tarea	Las actividades de Ingeniería permitieron observar que las necesidades de información cambian según la tarea que se desarrolla. El reconocimiento del obstáculo requirió conocer características del terreno, accesos y sectores de interés, mientras que las actividades relacionadas con su superación demandaron información útil para orientar la intervención y mantener la movilidad. Por otro lado, los UAS observados fueron empleados en tareas generales de reconocimiento y no específicamente en función de estas necesidades. Esta separación evidenció la importancia de definir primero la tarea y la información requerida antes de determinar cómo podría emplearse el sistema.	**UA27**
	SC13. Información y comunicaciones	En las actividades observadas se identificó la necesidad de que la información sobre el terreno, los obstáculos y la movilidad llegue de manera clara y oportuna a quienes participan en el planeamiento y la ejecución. En los registros con UAS se obtuvo información mediante observación e imágenes, pero no se evidenció un flujo establecido que conectara directamente al operador del sistema con el elemento encargado del reconocimiento o brechado. Las actividades de planeamiento y coordinación mostraron que la información adquiere utilidad cuando puede ser	**UA28**

Categorías	Subcategorías	Evidencias de la observación	UU. de análisis
		compartida, comprendida y relacionada con las necesidades de quienes deben actuar o tomar una decisión.	
	SC14. Personal	En las actividades con UAS se observó personal encargado de la operación del sistema y del manejo de la información obtenida, mientras que en las actividades de Ingeniería participaron especialistas responsables del reconocimiento, movilidad y procedimientos relacionados con la superación de obstáculos. No se registró una actividad en la que ambos grupos trabajaran integrados específicamente para una operación de apertura de brechas. Esta situación permitió identificar la necesidad de relacionar las competencias del operador y del personal que procesa la información con el conocimiento especializado del personal de Ingeniería.	**UA29**
	SC15. Organizacionales	Las observaciones mostraron que las actividades con UAS y las relacionadas con Ingeniería se desarrollaron de manera diferenciada, sin evidenciarse una estructura específica que integrara ambas capacidades para la apertura de brechas en campos minados. Tampoco se registraron procedimientos establecidos para solicitar una misión UAS desde el elemento de Ingeniería, definir prioridades de reconocimiento, procesar la información obtenida y distribuirla a quienes intervienen en el brechado. Las situaciones de planeamiento y coordinación observadas permitieron reconocer que una integración de este tipo requeriría definir previamente responsabilidades, relaciones de coordinación y un flujo de información entre los elementos participantes.	**UA30**

Nota. La tabla presenta la síntesis de las evidencias obtenidas mediante las seis guías de observación cualitativa.

Tabla 6

Definición de categorías a partir del análisis documental

Subcategorías	Tipo de documento	Referencia	Tema	UU. de análisis
SC01. Reconocimiento y vigilancia	Documento doctrinario y artículos científicos	Department of the Army. (2016). *Engineer reconnaissance* (ATP 3-34.81). Department of the Army. Barnawi, A., Kumar, K., Kumar, N., Thakur, N., Alzahrani, B., & Almansour, A. (2023). Unmanned aerial vehicle (UAV) path planning	Los documentos permitieron analizar el empleo de medios de reconocimiento para obtener información del terreno y de los obstáculos antes de comprometer directamente a la fuerza. El ATP 3-34.81 desarrolla el reconocimiento de Ingeniería como una actividad orientada a obtener información necesaria para apoyar la movilidad y la toma de decisiones. Por su parte, Barnawi et al.	**UA31**

		for area segmentation in intelligent landmine detection systems. *Sensors, 23*(16), 7264. https://doi.org/10.3390/s23167264.	mostraron posibilidades de los UAS para realizar observación remota y obtener información mediante sensores. En conjunto, estas fuentes permitieron comprender que el valor del UAS en esta subcategoría se encuentra principalmente en ampliar la observación del área de interés y proporcionar información previa y actualizada, sin asumir que esta capacidad sustituye el reconocimiento especializado requerido en un campo minado.	
SC02. Sensores y sistemas de detección	Artículos científicos	García-Fernández, M., Álvarez-Narciandi, G., Álvarez López, Y., & Las-Heras, F. (2023). Array-based ground penetrating synthetic aperture radar on board an unmanned aerial vehicle for enhanced buried threats detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 61*, 5104218. https://doi.org/10.1109/tgrs.2023.3272982. Kuru, K., Sujit, A., Ansell, D., Pinder, J. M., Jones, D., Watkinson, B. J., Hamila, R., & Tinker-Mill, C. (2024). Intelligent, automated, rapid, and safe landmine, improvised explosive device and unexploded ordnance detection using Maggy. *IEEE Access, 12*, 165736–165755. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3493013 Lee, J., & Lee, H. (2024). Modeling residual magnetic anomalies of landmines using UAV-borne vector magnetometer: Flight simulations and experimental validation. *Remote Sensing, 16*(16), 2916. https://doi.org/10.3390/rs16162916	Los estudios revisados permitieron reconocer que la capacidad de detección depende tanto del tipo de sensor como de las características del objeto buscado y del entorno donde se realiza la observación. Las fuentes examinaron alternativas de sensado que pueden complementar la información visual y aportar datos sobre elementos que no necesariamente son visibles en superficie. A la vez, mostraron que cada tecnología presenta alcances y limitaciones particulares. Esto permitió orientar el análisis hacia el empleo combinado de sensores y hacia la necesidad de seleccionar la capacidad de detección de acuerdo con la amenaza, el terreno y la tarea que debe cumplir el UAS.	**UA32**
SC03. Detección e identificación de amenazas	Artículos científicos	García-Fernández, M., Álvarez-Narciandi, G., Álvarez López, Y., & Las-Heras, F. (2023). Array-based ground penetrating synthetic aperture radar on board an unmanned aerial vehicle for enhanced buried threats detection. *IEEE Transactions on*	La documentación analizada mostró que la detección de amenazas mediante sistemas no tripulados no debe entenderse como una capacidad absoluta. Los trabajos revisados permitieron diferenciar la identificación de señales, alteraciones o anomalías de la confirmación de una amenaza específica. También	**UA33**

		Geoscience and Remote Sensing, 61, 5104218. https://doi.org/10.1109/tgrs.2023.3272982. Kuru, K., Sujit, A., Ansell, D., Pinder, J. M., Jones, D., Watkinson, B. J., Hamila, R., & Tinker-Mill, C. (2024). Intelligent, automated, rapid, and safe landmine, improvised explosive device and unexploded ordnance detection using Maggy. *IEEE Access, 12*, 165736–165755. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3493013 Forero Ramírez, J. C., Restrepo Girón, A. D., Nope Rodríguez, S. E., Loaiza Correa, H., Barandica López, A., & Buitrago Molina, J. T. (2025). Detección de minas antipersona usando máquinas de aprendizaje superficial en imágenes termográficas adquiridas desde un dron. *Revista UIS Ingenierías, 24*(2), 87–102. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10360431	evidenciaron que el desempeño puede variar según las características físicas del objeto, el sensor utilizado y las condiciones del terreno. Estos aportes permitieron considerar la detección como un proceso que requiere interpretación, contraste y, cuando corresponda, confirmación mediante otras fuentes o procedimientos antes de asumir que una amenaza ha sido identificada con certeza.	
SC04. Procesamiento y análisis de información	Artículos científicos y libro	Baur, J., Dewey, K., Steinberg, G., & Nitsche, F. O. (2024). Modeling the effect of vegetation coverage on unmanned aerial vehicles-based object detection: A study in the minefield environment. *Remote Sensing, 16*(12), 2046. https://doi.org/10.3390/rs16122046 Endsley, M. R., & Garland, D. J. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. En M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation awareness analysis and measurement*. Lawrence Erlbaum Associates.https://www.researchgate.net/publication/292771806_Situation_awareness_analysis_and_measurement_chapter_theoretical_underpinnings_of_situation_awareness	Las fuentes permitieron analizar que la obtención de datos constituye solamente una parte del proceso y que su utilidad depende de la capacidad para transformarlos en información comprensible. Los trabajos vinculados con procesamiento mostraron la necesidad de organizar e interpretar la información obtenida por los sistemas, mientras que Endsley y Garland permitieron relacionar este proceso con la construcción de una adecuada conciencia de la situación. Desde esta perspectiva, el procesamiento debe ayudar a identificar aquello que resulta relevante, diferenciar niveles de confianza y presentar la información de manera que pueda ser incorporada a las decisiones relacionadas con el reconocimiento y el brechado.	**UA34**

SC05. Georreferenciación y mapeo	Artículo científico	Popov, M., Stankevich, S., Mosov, S., Dugin, S., Golubov, S., Andreiev, A., Lysenko, A., & Saprykin, I. (2024). Concept of a geoinformation platform for landmines and other explosive objects detection and mapping with UAV. *Radioelectronic and Computer Systems, 2024*(4), 207–216. https://doi.org/10.32620/reks.2024.4.17	El documento analizado permitió examinar la capacidad de los sistemas no tripulados para obtener información espacial y representarla sobre productos cartográficos. Esta posibilidad resulta relevante porque los datos obtenidos durante el reconocimiento necesitan vincularse con una ubicación concreta para que puedan ser utilizados por los elementos que actúan sobre el terreno. En la investigación, este aporte permitió considerar la georreferenciación y el mapeo como medios para relacionar los puntos o sectores de interés con el obstáculo, la dirección de avance y los posibles sectores de intervención, facilitando que la información obtenida pueda incorporarse a una situación común.	**UA35**
SC06. Reconocimiento del obstáculo	Documentos doctrinarios	Department of the Army. (2025). *Operaciones de ingeniería* (Field Manual No. 3-34). Headquarters, Department of the Army. Department of the Army. (2016). *Engineer reconnaissance* (Army Techniques Publication ATP 3-34.81). Headquarters, Department of the Army. https://www.marines.mil/Portals/1/Publications/MCRP%203-34.3%20(W%20CH%201)%20(SECURED).pdf?ver=EBQtxiiY-g7aa46YDY1UBw%3D%3D	Los documentos doctrinarios permitieron comprender que el reconocimiento de Ingeniería busca obtener información sobre el terreno y los obstáculos para apoyar el planeamiento y la conducción de las operaciones. El ATP 3-34.81 desarrolla específicamente las actividades de reconocimiento de Ingeniería, mientras que el FM 3-34 relaciona estas tareas con las funciones de movilidad y apoyo a la maniobra. Ambas fuentes permitieron identificar la necesidad de conocer las características del obstáculo, su ubicación, extensión, condiciones del terreno y posibles efectos sobre el movimiento, información que resulta necesaria antes de determinar cómo intervenir sobre un campo minado.	**UA36**
SC07. Reducción del obstáculo y apertura de la brecha	Documento doctrinario	Department of the Army. (2025). *Operaciones de ingeniería* (Field Manual No. 3-34). Headquarters, Department of the Army.	El FM 3-34 permitió analizar la apertura de brechas como parte de las actividades de movilidad destinadas a superar obstáculos que restringen el movimiento de la fuerza. El documento doctrinario permitió reconocer que la reducción del obstáculo requiere planeamiento, coordinación, medios de Ingeniería y conocimiento previo de las condiciones existentes. Desde esta perspectiva, la información proporcionada por un UAS puede apoyar determinadas fases del reconocimiento y mantener	**UA37**

			actualizada la situación, pero no reemplaza los medios, procedimientos ni responsabilidades propias de Ingeniería para ejecutar físicamente la reducción y establecer una brecha utilizable.	
SC08. Seguridad y protección de la fuerza	Documento doctrinario y libro	Department of the Army. (2025). *Operaciones de ingeniería* (Field Manual No. 3-34). Headquarters, Department of the Army. Perrow, C. (1999). *Normal accidents: Living with high risk technologies—Updated edition*. Princeton University Press. https://doi.org/10.2307/j.ctt7srgf	La documentación permitió analizar la protección desde dos aspectos complementarios. El FM 3-34 muestra que las operaciones de Ingeniería sobre obstáculos exigen coordinación y medidas que permitan proteger a los elementos participantes. Perrow, desde el estudio de sistemas complejos y actividades de riesgo, permite reconocer que la incorporación de tecnología no elimina por sí misma la posibilidad de fallas o situaciones no previstas. Estos aportes permitieron interpretar que los UAS pueden disminuir determinadas exposiciones durante el reconocimiento, pero su empleo no elimina el riesgo del brechado ni justifica reducir las medidas de seguridad aplicables a la operación.	**UA38**
SC09. Movilidad	Documento doctrinario	Department of the Army. (2025). *Operaciones de ingeniería* (Field Manual No. 3-34). Headquarters, Department of the Army.	El FM 3-34 permitió relacionar las operaciones de Ingeniería con la necesidad de mantener la libertad de movimiento de la fuerza frente a obstáculos naturales o artificiales. Dentro de este marco, la apertura de una brecha responde a la necesidad de superar una restricción que afecta el desplazamiento. Esta referencia permitió interpretar que el aporte de un UAS a la movilidad sería principalmente indirecto, mediante la obtención y actualización de información que ayude a reconocer el obstáculo y preparar la intervención de Ingeniería. La recuperación efectiva de la movilidad continúa dependiendo de que la brecha sea ejecutada y pueda ser utilizada por la fuerza.	**UA39**
SC10. Apoyo a la maniobra	Documento doctrinario	Department of the Army. (2025). *Operaciones de ingeniería* (Field Manual No. 3-34). Headquarters, Department of the Army.	El documento doctrinario permitió comprender que las actividades de Ingeniería se desarrollan en función de las necesidades de la maniobra y no como acciones aisladas. La superación de un obstáculo adquiere importancia en la medida en que permite mantener el ritmo, la libertad de movimiento y la continuidad de la operación. En ese sentido, la documentación	**UA40**

			permitió analizar que la información obtenida mediante UAS podría contribuir a anticipar la presencia y características del obstáculo, apoyar el planeamiento de la intervención y mantener actualizada la situación, siempre subordinando su empleo a las necesidades de la maniobra.	
SC11. Tecnológicos	Artículos científicos	Baur, J., Dewey, K., Steinberg, G., & Nitsche, F. O. (2024). Modeling the effect of vegetation coverage on unmanned aerial vehicles-based object detection: A study in the minefield environment. *Remote Sensing, 16*(12), 2046. https://doi.org/10.3390/rs16122046 García-Fernández, M., Álvarez-Narciandi, G., Álvarez López, Y., & Las-Heras, F. (2023). Array-based ground penetrating synthetic aperture radar on board an unmanned aerial vehicle for enhanced buried threats detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 61*, 5104218. https://doi.org/10.1109/tgrs.2023.3272982 Kuru, K., Sujit, A., Ansell, D., Pinder, J. M., Jones, D., Watkinson, B. J., Hamila, R., & Tinker-Mill, C. (2024). Intelligent, automated, rapid, and safe landmine, improvised explosive device and unexploded ordnance detection using Maggy. *IEEE Access, 12*, 165736–165755. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3493013	Los documentos revisados permitieron identificar que el empleo de UAS depende de diferentes características tecnológicas vinculadas con la plataforma, los sensores, la capacidad para obtener y procesar información y las condiciones del entorno. Los estudios mostraron que no todas las configuraciones ofrecen el mismo desempeño y que las capacidades deben analizarse de acuerdo con aquello que se pretende observar o detectar. En la investigación, estos aportes permitieron considerar la autonomía, carga útil, sensores, navegación, comunicaciones y capacidad de procesamiento como requerimientos que deben guardar relación con la misión asignada y con las condiciones en las que se desarrollará el brechado.	**UA41**
SC12. De la tarea	Artículo científico	Goodhue, D. L., & Thompson, R. L. (1995). Task-Technology Fit and Individual Performance. *MIS Quarterly*, *19*(2), 213-236. https://doi.org/10.2307/249689	Goodhue y Thompson desarrollan el ajuste entre la tarea y la tecnología, planteando que el desempeño depende de la correspondencia entre las necesidades de la tarea y las capacidades que proporciona la tecnología. Esta perspectiva permitió analizar el empleo de UAS partiendo primero de aquello	**UA42**

			que necesita realizar el elemento de Ingeniería y no de las prestaciones disponibles en una plataforma determinada. Aplicado a la investigación, el aporte permitió considerar que las características del UAS, sus sensores y sus capacidades de información deben seleccionarse de acuerdo con las tareas de reconocimiento, vigilancia y apoyo al brechado que realmente se requieran durante la operación.	
SC13. Información y comunicaciones	Artículo científico y libro	Abbas, R., & Michael, K. (2025). *Socio-Technical Theory*. https://open.ncl.ac.uk/theory-library/socio-technical-theory.pdf Endsley, M. R., & Garland, D. J. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. En M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation awareness analysis and measurement*. Lawrence Erlbaum Associates. https://www.researchgate.net/publication/292771806_Situation_awareness_analysis_and_measurement_chapter_theoretical_underpinnings_of_situation_awareness	Las fuentes permitieron comprender que la utilidad de una tecnología no depende únicamente de su capacidad para obtener datos, sino también de cómo esa información circula dentro del sistema y llega a las personas que deben utilizarla. La perspectiva sociotécnica permitió considerar conjuntamente la tecnología, los usuarios y la organización, mientras que el enfoque de conciencia situacional ayudó a reconocer la importancia de disponer de información relevante y comprensible para interpretar adecuadamente la situación. Estos aportes orientaron el análisis hacia la necesidad de establecer comunicaciones confiables, formatos comunes y un flujo de información que conecte al sistema UAS con Ingeniería y con los niveles responsables del planeamiento y la conducción.	**UA43**
SC14. Personal	Artículo científico	Abbas, R., & Michael, K. (2025). *Socio-Technical Theory*. https://open.ncl.ac.uk/theory-library/socio-technical-theory.pdf	Desde la perspectiva sociotécnica desarrollada en la fuente analizada, la incorporación de una tecnología debe considerar la interacción entre los medios técnicos y las personas que forman parte de la organización. Este enfoque permitió analizar que el empleo de UAS en el brechado no depende solamente de contar con una plataforma y sensores, sino también de disponer de operadores, analistas y especialistas de Ingeniería capaces de trabajar de manera coordinada. La documentación permitió orientar esta subcategoría hacia la preparación del personal, la distribución de funciones y la necesidad de entrenamiento conjunto para convertir los datos obtenidos por el sistema en información útil para la operación.	**UA44**

SC15. Organizacionales	Artículo científico	Abbas, R., & Michael, K. (2025). *Socio-Technical Theory*. https://open.ncl.ac.uk/theory-library/socio-technical-theory.pdf	El enfoque sociotécnico permitió analizar que la incorporación de una nueva capacidad tecnológica produce efectos sobre la organización y requiere establecer relaciones entre las personas, los procedimientos y los medios empleados. Aplicado al objeto de estudio, esta perspectiva permitió reconocer que integrar UAS en operaciones de apertura de brechas requiere definir responsabilidades, prioridades, relaciones de coordinación y mecanismos para distribuir la información obtenida. De esta manera, la incorporación del sistema no puede limitarse a agregar una plataforma a la unidad, sino que debe considerar cómo se articula con Ingeniería, con el planeamiento y con los niveles encargados de conducir la maniobra.	**UA45**

Nota. La tabla presenta los principales documentos analizados durante la investigación, los temas vinculados con cada subcategoría.

4.2 Soporte de Categorías

El soporte de las categorías se organizó a partir de la información obtenida mediante las entrevistas semiestructuradas, las guías de observación y el análisis documental. Los datos fueron examinados de acuerdo con las quince subcategorías establecidas en la matriz de categorización, buscando reconocer los aspectos que permitieran comprender las posibilidades y condiciones para integrar las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados.

Para mantener un orden en el análisis, cada subcategoría se desarrolló considerando primero las apreciaciones recogidas en las entrevistas, luego las evidencias obtenidas mediante la observación y, finalmente, los aportes de las fuentes doctrinarias y académicas seleccionadas. Esta organización permitió revisar cada aspecto desde diferentes fuentes, reconociendo tanto sus coincidencias como sus diferencias y limitaciones, sin asumir que los datos debían mostrar necesariamente los mismos resultados.

4.2.1 Categoría C1 Capacidades de las aeronaves no tripuladas

4.2.1.1 SC01 Reconocimiento y vigilancia

4.2.1.1.1 Entrevista. Los entrevistados coincidieron en que una de las principales posibilidades de los UAS se encuentra en el reconocimiento previo del área donde existe un campo minado. Desde sus diferentes especialidades, señalaron que estos sistemas pueden observar el terreno, reconocer accesos, identificar sectores de interés y proporcionar información antes de comprometer directamente al personal de Ingeniería.

También se destacó su utilidad para mantener la vigilancia durante el desarrollo de la operación. Los participantes consideraron que la situación encontrada inicialmente puede cambiar mientras se ejecuta el brechado, por lo que disponer de una fuente de observación aérea permitiría actualizar determinados aspectos del terreno y del obstáculo. Esta posibilidad fue relacionada con una reducción de la incertidumbre y con mejores condiciones para anticipar situaciones que puedan afectar las acciones de Ingeniería.

Sin embargo, los entrevistados fueron cuidadosos al señalar los límites de esta capacidad. La observación desde un UAS no significa que el campo minado haya sido

completamente reconocido ni que todas las amenazas puedan identificarse desde el aire. Su aporte fue entendido como una fuente adicional de información que debe complementarse con otros medios y con los procedimientos propios de Ingeniería.

4.2.1.1.2 Observación*.* En las actividades donde se emplearon UAS se observó su utilización para reconocer el terreno y obtener imágenes de sectores de interés sin aproximar inicialmente al personal. Los registros mostraron que esta capacidad permitió ampliar la observación del área y disponer de información visual que podía ser utilizada para comprender mejor determinadas características del terreno.

No obstante, las actividades observadas estuvieron orientadas al reconocimiento general y no correspondieron a una operación integrada de reconocimiento de un campo minado. Tampoco se observó el empleo del UAS durante una apertura de brecha. Esta situación permitió distinguir entre la capacidad existente para observar el terreno y la necesidad de establecer procedimientos que permitan emplear esa información de manera específica dentro de una operación de brechado.

4.2.1.1.3 Análisis documental*.* El Department of the Army (2016), mediante el ATP 3-34.81, desarrolla el reconocimiento de Ingeniería como una actividad orientada a obtener información sobre el terreno y los obstáculos que pueda apoyar el planeamiento y las operaciones. Desde esta perspectiva, el reconocimiento no se limita a observar un área, sino que debe responder a necesidades concretas de información.

Los documentos académicos vinculados con el empleo de UAS también mostraron las posibilidades de estos sistemas para ampliar la observación remota y obtener información mediante diferentes medios de captación. En conjunto, estas fuentes permitieron considerar que el reconocimiento y vigilancia mediante UAS puede complementar las actividades de Ingeniería, principalmente cuando la información obtenida responde a una necesidad previamente definida y puede incorporarse oportunamente al planeamiento y la conducción de la operación.

4.2.1.2 SC02 Sensores y sistemas de detección

4.2.1.2.1 Entrevista. Los entrevistados señalaron que la capacidad de un UAS para aportar información sobre un campo minado depende en buena medida de los sensores que pueda transportar. Entre las alternativas mencionaron cámaras electroópticas, sensores térmicos, magnetómetros y sistemas capaces de obtener información sobre elementos que se encuentran debajo de la superficie.

A pesar de estas posibilidades, los participantes coincidieron en que no existe un sensor que garantice la detección de todas las minas. Indicaron que los resultados pueden variar según el material de la amenaza, su profundidad, las características del suelo, la vegetación, la humedad y otras condiciones presentes en el terreno. Por esta razón, consideraron más conveniente combinar distintas fuentes de información y seleccionar los sensores de acuerdo con las características de la tarea.

Los testimonios también mostraron que disponer de una tecnología con mayores prestaciones no asegura por sí mismo un mejor resultado. El sensor debe responder a aquello que realmente necesita conocer el elemento de Ingeniería y a las condiciones en las que será empleado.

4.2.1.2.2 Observación*.* En las actividades donde se utilizaron UAS se observó principalmente la obtención de imágenes y el reconocimiento visual del terreno. No se registró el empleo de sensores especializados para detectar minas u otros elementos enterrados.

Esta diferencia resultó importante para el análisis, debido a que permitió reconocer que las capacidades observadas se orientaron al reconocimiento general del terreno y no a la detección específica de amenazas presentes en un campo minado. En consecuencia, la incorporación del UAS a una operación de brechado requeriría evaluar qué sensores adicionales serían necesarios de acuerdo con el tipo de amenaza y con la información que necesita obtener el elemento de Ingeniería.

4.2.1.2.3 Análisis documental*.* Los estudios seleccionados sobre sistemas de detección mostraron que diferentes tecnologías pueden aportar información complementaria sobre elementos presentes en el terreno. García-Fernández et al. (2023) abordaron el empleo

de tecnologías de sensado aplicadas desde plataformas aéreas, mostrando posibilidades para ampliar la obtención de información más allá de la observación visual.

Los demás estudios especializados revisados permitieron reconocer que el desempeño de los sensores se encuentra condicionado por el tipo de objetivo, las características del terreno y las condiciones en las que se realiza la detección. Estos aportes guardaron relación con lo señalado por los entrevistados respecto de la conveniencia de combinar medios y evitar que una sola tecnología sea considerada suficiente para responder a todas las condiciones que pueden presentarse durante el reconocimiento de un campo minado.

4.2.1.3 SC03 Detección e identificación de amenazas

4.2.1.3.1 Entrevista*.* Los entrevistados establecieron una diferencia importante entre detectar un indicio e identificar de manera confirmada una amenaza. Señalaron que los UAS y sus sensores pueden contribuir a reconocer alteraciones del terreno, cambios térmicos, señales magnéticas u otras anomalías que llamen la atención sobre un punto o sector determinado. Sin embargo, estas señales no deberían presentarse automáticamente como una mina confirmada.

Los participantes también advirtieron que los sistemas de detección pueden producir falsos positivos o dejar amenazas sin identificar. Por ello, señalaron la necesidad de contrastar los resultados, utilizar diferentes fuentes de información y mantener claramente diferenciados los indicios de aquellos elementos que hayan podido ser confirmados mediante otros procedimientos.

Una preocupación común fue evitar que la tecnología genere una falsa sensación de seguridad. En ese sentido, los entrevistados indicaron que el hecho de que un UAS no detecte una amenaza no permite considerar que el sector se encuentre libre de minas. Esta precisión fue especialmente relevante debido a las consecuencias que una interpretación incorrecta podría producir sobre el personal encargado del reconocimiento o de la apertura de la brecha.

4.2.1.3.2 Observación*.* Las actividades observadas con UAS permitieron reconocer características visibles del terreno, obstáculos y sectores que podían resultar de interés. Sin

embargo, no se registró la detección ni la confirmación de minas enterradas mediante estos sistemas.

La información disponible estuvo relacionada principalmente con elementos observables en superficie. Por su parte, en las actividades de Ingeniería, la identificación de obstáculos se realizó mediante el reconocimiento y los procedimientos propios del personal participante. Esta situación permitió evidenciar la diferencia entre ampliar la observación del terreno y disponer de una capacidad específica para detectar e identificar amenazas enterradas.

4.2.1.3.3 Análisis documental. Los estudios revisados sobre detección mediante sensores permitieron reconocer que los resultados obtenidos requieren interpretación y que su desempeño puede modificarse de acuerdo con las características físicas del objeto y del entorno. García-Fernández et al. (2023) mostraron las posibilidades de emplear sistemas de sensado desde plataformas aéreas para identificar determinadas respuestas o anomalías presentes en el terreno.

De manera complementaria, los trabajos incluidos en el análisis documental permitieron reconocer las limitaciones que acompañan a los diferentes métodos de detección. Estos aportes reforzaron la necesidad de distinguir entre una señal o anomalía y la confirmación de una amenaza, así como de combinar fuentes cuando la situación lo requiera. De esta manera, la capacidad de detección fue entendida como un apoyo al reconocimiento y no como una garantía de que todas las minas existentes puedan ser identificadas.

4.2.1.4 SC04 Procesamiento y análisis de información

4.2.1.4.1 Entrevista. Los entrevistados señalaron que obtener imágenes o datos mediante un UAS no resulta suficiente si esa información no puede ser interpretada y utilizada por quienes participan en el planeamiento y la ejecución de la operación. Desde esta perspectiva, diferenciaron entre el dato obtenido por el sensor y la información que finalmente necesita el comandante o el elemento de Ingeniería.

Los participantes consideraron necesario ordenar los datos, identificar los sectores relevantes, diferenciar los indicios de aquello que haya sido confirmado y establecer, cuando

sea posible, el nivel de confianza de la información. También señalaron que trasladar directamente una gran cantidad de imágenes o datos al usuario puede dificultar su empleo si estos no han sido previamente analizados.

Por ello, resaltaron que el producto final debería responder de manera sencilla a cuestiones como qué se observó, dónde se encuentra, qué grado de confianza presenta y qué importancia puede tener para la operación. De esta manera, el procesamiento fue relacionado directamente con la posibilidad de convertir los datos obtenidos por el UAS en información útil para decidir.

4.2.1.4.2 Observación. En las actividades con UAS se observó la obtención y visualización de imágenes del terreno. Sin embargo, no se registró un procedimiento específico destinado a transformar esa información en productos orientados al reconocimiento de campos minados o a la apertura de brechas.

En las actividades de planeamiento y coordinación sí se evidenció la necesidad de disponer de información organizada y comprensible sobre el terreno, los obstáculos y la movilidad. La comparación entre ambas situaciones permitió reconocer que la capacidad para obtener datos ya se encuentra presente en determinadas actividades con UAS, pero su posible empleo en el brechado requiere establecer cómo esos datos serán procesados, interpretados y entregados a quienes realmente los necesitan.

4.2.1.4.3 Análisis documental. Endsley y Garland (2000) permiten comprender que disponer de información no garantiza por sí mismo una adecuada conciencia de la situación. Los datos necesitan ser percibidos, comprendidos y relacionados con aquello que puede ocurrir posteriormente para que contribuyan efectivamente a una decisión.

Los trabajos académicos relacionados con el procesamiento de información obtenida mediante sistemas tecnológicos complementaron esta perspectiva al mostrar la necesidad de organizar e interpretar los datos antes de su empleo. Estos aportes permitieron considerar que el procesamiento de la información obtenida por un UAS debe orientarse a reducir la cantidad de datos sin utilidad inmediata y destacar aquellos elementos que puedan influir sobre el reconocimiento del obstáculo, la seguridad del personal y la preparación de la brecha.

4.2.1.5 SC05 Georreferenciación y mapeo

4.2.1.5.1 Entrevista*.* Los entrevistados consideraron que la información obtenida mediante UAS necesita estar asociada con una ubicación precisa para que pueda ser empleada por Ingeniería y por los responsables del planeamiento. Señalaron que una imagen o la identificación de un indicio pierde parte de su utilidad si posteriormente no puede determinarse con claridad dónde se encuentra sobre el terreno.

Los participantes relacionaron esta necesidad con el empleo de coordenadas, imágenes georreferenciadas y productos cartográficos que permitan representar los sectores observados sobre una referencia común. También señalaron que esta información debería mostrar de manera diferenciada los puntos confirmados y aquellos que únicamente representan indicios o zonas que requieren una revisión adicional.

Desde esta perspectiva, la georreferenciación fue considerada como un vínculo entre la información obtenida desde el aire y las acciones que posteriormente deben ejecutarse sobre el terreno. Su utilidad radicaría en permitir que el elemento de Ingeniería, el Estado Mayor y los demás participantes trabajen sobre una misma representación de la situación.

4.2.1.5.2 Observación*.* En las actividades con UAS se observó que las imágenes y la información obtenida podían relacionarse con determinados puntos o sectores del terreno. Sin embargo, no se registró la elaboración de un producto georreferenciado específicamente diseñado para representar minas, indicios de amenazas o sectores destinados a una apertura de brecha.

Las actividades de planeamiento y coordinación mostraron, por otra parte, la necesidad de ubicar correctamente la información relacionada con el terreno y los obstáculos para que esta pueda ser compartida y utilizada por diferentes elementos. Esta situación permitió reconocer que la georreferenciación no debe limitarse a registrar coordenadas, sino que necesita formar parte de una representación que pueda ser comprendida por quienes intervienen en la operación.

4.2.1.5.3 Análisis documental*.* Popov et al. (2024) abordaron el empleo de sistemas no tripulados para obtener y representar información espacial, mostrando las posibilidades

que ofrecen estas plataformas para generar productos vinculados con la ubicación y características del terreno.

Estos aportes permitieron relacionar la georreferenciación con la necesidad operacional de representar los puntos y sectores de interés sobre una referencia común. Aplicado a la apertura de brechas, esta capacidad permitiría vincular la información obtenida durante el reconocimiento con la ubicación del obstáculo, los accesos, los posibles sectores de intervención y la dirección prevista de la maniobra. De esta manera, el mapeo constituye un medio para transformar información dispersa en una representación espacial que pueda ser utilizada durante el planeamiento y la conducción.

4.2.2 Categoría C2 Operaciones de apertura de brechas en campos minados

4.2.2.1 SC06 Reconocimiento del obstáculo

4.2.2.1.1 Entrevista*.* Los entrevistados señalaron que el reconocimiento del obstáculo constituye una actividad necesaria para conocer las condiciones que encontrará la fuerza antes de iniciar la apertura de una brecha. Entre los aspectos mencionados estuvieron la ubicación y extensión aproximada del campo minado, las características del terreno, los accesos, las amenazas existentes y los sectores que podrían presentar mejores condiciones para continuar el reconocimiento o realizar una intervención.

Desde la perspectiva de Ingeniería se destacó que esta información permite determinar dónde podría establecerse una brecha, qué medios serían necesarios y bajo qué condiciones tendría que trabajar el personal. Los participantes vinculados con el planeamiento agregaron que no basta con conocer físicamente el obstáculo, sino que también es necesario comprender cómo afecta la maniobra y qué información todavía falta para adoptar una decisión.

Los testimonios también mostraron que el reconocimiento no proporciona necesariamente una certeza absoluta sobre todo lo que existe dentro de un campo minado. Por ello, los entrevistados consideraron que debe mantenerse durante el desarrollo de la operación y complementarse con diferentes fuentes. En este contexto, el UAS fue

considerado como un medio que puede ampliar la información disponible, siempre que su empleo responda a necesidades concretas del elemento de Ingeniería.

4.2.2.1.2 Observación. En las actividades de Ingeniería se observó que el reconocimiento del terreno y de los obstáculos precedió a otras acciones relacionadas con la movilidad. Los registros permitieron identificar la necesidad de conocer las características del sector, los accesos y las condiciones que podían influir sobre el movimiento antes de determinar cómo actuar.

En estas actividades no se observó el empleo integrado de UAS para reconocer el obstáculo. Sin embargo, al comparar estas necesidades con las actividades donde sí fueron empleados sistemas no tripulados, se identificó que algunas de sus capacidades de observación podrían proporcionar información relacionada con el terreno y determinados sectores de interés. La ausencia de integración observada permitió reconocer que el posible aporte del UAS depende de establecer previamente qué información necesita Ingeniería y cómo debe llegar hasta el personal responsable del reconocimiento.

4.2.2.1.3 Análisis documental. El Department of the Army (2016), mediante el ATP 3-34.81, desarrolla el reconocimiento de Ingeniería como un proceso dirigido a obtener información sobre el terreno y los obstáculos para apoyar el planeamiento y las operaciones. Esta información permite comprender las características del área y determinar aquellos aspectos que pueden afectar el movimiento de la fuerza.

De manera complementaria, el Department of the Army (2025), mediante el FM 3-34, relaciona las actividades de Ingeniería con la movilidad y con la necesidad de superar aquellos obstáculos que restringen la maniobra. Ambos documentos permitieron comprender que el reconocimiento debe responder a requerimientos específicos y proporcionar información que pueda ser utilizada posteriormente para preparar la intervención de Ingeniería.

4.2.2.2 SC07 Reducción del obstáculo y apertura de la brecha

4.2.2.2.1 Entrevista. Los entrevistados relacionaron la reducción del obstáculo con la necesidad de disponer previamente de información suficiente sobre el campo minado y las

condiciones del terreno. Desde Ingeniería se señaló que esta información ayuda a seleccionar el sector donde podría establecerse la brecha, determinar los medios necesarios y preparar las acciones que deberá realizar el personal encargado de la reducción.

Los participantes también indicaron que la información obtenida mediante UAS podría orientar determinadas decisiones antes y durante la intervención. No obstante, fueron claros al diferenciar esta función de la ejecución física del brechado. El UAS puede observar, proporcionar información y contribuir a actualizar la situación, pero no sustituye los medios de Ingeniería ni los procedimientos necesarios para reducir el obstáculo.

Otro aspecto mencionado fue la necesidad de mantener el reconocimiento mientras se ejecuta la operación. Debido a que no siempre será posible conocer previamente la ubicación de todas las amenazas, la información debe continuar actualizándose conforme avanza la intervención. De esta manera, el apoyo del UAS fue relacionado principalmente con el conocimiento de la situación y no con la ejecución directa de la reducción.

4.2.2.2.2 Observación. En las actividades de entrenamiento de Ingeniería se observaron procedimientos relacionados con el reconocimiento y la superación de obstáculos. Estas actividades mostraron que la intervención requiere preparación previa, coordinación entre los participantes y conocimiento suficiente de las condiciones existentes antes de iniciar las acciones correspondientes.

No se observó una apertura de brecha en campos minados apoyada directamente por UAS ni la participación integrada de estos sistemas durante los procedimientos registrados. Esta situación permitió diferenciar claramente las capacidades observadas por separado: por un lado, los UAS utilizados para reconocimiento general del terreno y, por otro, el personal y los medios de Ingeniería desarrollando procedimientos relacionados con obstáculos y movilidad.

La separación encontrada mostró que una posible integración no consistiría en reemplazar los procedimientos de brechado, sino en establecer cómo la información obtenida mediante UAS podría llegar oportunamente al elemento de Ingeniería y apoyar la preparación y seguimiento de sus acciones.

4.2.2.2.3 Análisis documental*.* El Department of the Army (2025), mediante el FM 3-34, desarrolla las actividades de Ingeniería relacionadas con la movilidad y la superación de obstáculos. La apertura de una brecha responde a la necesidad de establecer un paso que permita a la fuerza superar una restricción y continuar su movimiento.

La doctrina también permitió reconocer que estas acciones requieren planeamiento, coordinación y medios específicos. Desde esta perspectiva, la información obtenida por un UAS puede constituir un apoyo para conocer determinadas características del obstáculo o actualizar la situación, pero la reducción continúa dependiendo de las capacidades y procedimientos propios de Ingeniería. Esta distinción permitió ubicar al UAS como un medio de apoyo a la información y no como sustituto de los medios empleados para ejecutar físicamente la brecha.

4.2.2.3 SC08 Seguridad y protección de la fuerza

4.2.2.3.1 Entrevista*.* Los entrevistados señalaron que una de las ventajas que podría ofrecer el UAS es disminuir determinadas exposiciones durante el reconocimiento inicial. La posibilidad de observar un sector desde una posición alejada permitiría obtener información antes de comprometer directamente al personal en una zona donde todavía existe incertidumbre sobre la ubicación y características de las amenazas.

Sin embargo, los participantes coincidieron en que esta posibilidad no elimina los riesgos propios de una operación de brechado. El personal de Ingeniería continuará teniendo que intervenir sobre el obstáculo y mantener los procedimientos de seguridad correspondientes. Asimismo, señalaron que el propio sistema UAS presenta limitaciones relacionadas con el enlace, la autonomía, las interferencias y otras condiciones que deben considerarse durante su empleo.

Otro aspecto resaltado fue el riesgo de generar una falsa sensación de seguridad. Los entrevistados advirtieron que la ausencia de una detección no significa que un sector se encuentre libre de minas. Por ello, consideraron que la protección depende no solo de emplear medios que reduzcan la exposición, sino también de interpretar correctamente la información, mantener la coordinación y respetar los procedimientos establecidos.

4.2.2.3.2 Observación*.* En las actividades de Ingeniería se observó que el reconocimiento y las acciones relacionadas con la superación de obstáculos implicaron exposición del personal y exigieron mantener medidas de seguridad durante la ejecución. Los registros mostraron la importancia de la coordinación, el control de los movimientos y el conocimiento previo de las condiciones del sector.

Por otro lado, en las actividades donde se utilizaron UAS se observó la posibilidad de obtener información visual del terreno a distancia, sin aproximar inicialmente al personal al sector observado. Esta característica mostró una posibilidad concreta para disminuir determinadas exposiciones durante la obtención inicial de información.

No obstante, no se observó que el empleo de UAS reemplazara las medidas de seguridad aplicadas por Ingeniería ni que eliminara los riesgos presentes durante una intervención directa sobre el obstáculo. La evidencia permitió distinguir entre reducir determinadas exposiciones y eliminar el riesgo, condiciones que no representan lo mismo.

4.2.2.3.3 Análisis documental*.* El Department of the Army (2025) considera dentro de las operaciones de Ingeniería la necesidad de coordinar y proteger a los elementos que intervienen en actividades relacionadas con obstáculos y movilidad. Esta perspectiva permitió reconocer que la seguridad forma parte de la preparación y ejecución del brechado y no depende exclusivamente de un medio tecnológico.

Desde una perspectiva diferente, Perrow (1999) analizó los riesgos asociados con sistemas tecnológicos complejos y mostró que la incorporación de tecnología no elimina necesariamente la posibilidad de fallas o situaciones inesperadas. Este aporte permitió considerar que el UAS puede contribuir a reducir determinadas exposiciones, pero también introduce condiciones técnicas que deben ser conocidas y gestionadas. Por ello, su incorporación no elimina la necesidad de mantener medidas de protección ni justifica asumir como segura una zona únicamente a partir de la información proporcionada por el sistema.

4.2.2.4 SC09 Movilidad

4.2.2.4.1 Entrevista*.* Los entrevistados relacionaron la apertura de una brecha con la necesidad de recuperar la movilidad que el campo minado busca restringir. Señalaron que el

propósito no consiste solamente en detectar o retirar minas, sino en generar un paso que pueda ser utilizado por los elementos de la fuerza para continuar su movimiento.

Los participantes también destacaron la importancia del tiempo. Una fuerza detenida frente a un obstáculo puede perder ritmo y libertad de acción, incluso cuando posteriormente consiga superarlo. Por ello, consideraron que disponer anticipadamente de información sobre el terreno y el obstáculo puede contribuir a preparar con mayor oportunidad la intervención de Ingeniería.

Respecto del UAS, los entrevistados precisaron que este sistema no produce movilidad directamente. Su aporte se encontraría en proporcionar información que permita reconocer antes el obstáculo, orientar determinados sectores de interés y apoyar la preparación de las acciones necesarias para superarlo. De esta manera, la relación entre el UAS y la movilidad fue entendida principalmente como un apoyo indirecto mediante información.

4.2.2.4.2 Observación. En las actividades de Ingeniería se observó que el reconocimiento y la superación de obstáculos estuvieron relacionados con la necesidad de facilitar el movimiento de los elementos participantes. La información sobre el terreno, los accesos y las características del obstáculo fue considerada durante la preparación de las acciones vinculadas con la movilidad.

En las actividades con UAS no se registró una recuperación de la movilidad producida directamente por estos sistemas. Su empleo estuvo relacionado con la observación y obtención de información del terreno. Esta diferencia permitió reconocer que el posible aporte del UAS se encuentra antes o durante la preparación de las acciones de Ingeniería, pero que la movilidad efectiva depende de la intervención que permita superar el obstáculo.

4.2.2.4.3 Análisis documental. El Department of the Army (2025), mediante el FM 3-34, relaciona las operaciones de Ingeniería con la capacidad de mantener la libertad de movimiento de la fuerza. Los obstáculos pueden restringir, desviar o detener ese movimiento, por lo que su superación forma parte de las actividades destinadas a apoyar la movilidad.

Esta referencia permitió ubicar el posible aporte de los UAS dentro de un proceso más amplio. El sistema puede contribuir a obtener información sobre el terreno y el obstáculo, pero la recuperación de la movilidad depende finalmente de que Ingeniería establezca las condiciones necesarias para que la fuerza pueda continuar su desplazamiento. En ese sentido, el UAS constituye un apoyo para anticipar y preparar determinadas acciones, pero no reemplaza la capacidad que materializa la apertura de la brecha.

4.2.2.5 SC10 Apoyo a la maniobra

4.2.2.5.1 Entrevista. Los entrevistados señalaron que la apertura de una brecha tiene sentido cuando permite que la fuerza continúe desarrollando la maniobra prevista. Desde esta perspectiva, indicaron que no basta con establecer un paso en cualquier sector, sino que este debe responder a la dirección de movimiento, las necesidades de la operación y la oportunidad con la que la fuerza necesita superar el obstáculo.

Los participantes destacaron que un campo minado puede retrasar el avance, modificar una dirección prevista, concentrar elementos en determinados sectores o disminuir la libertad de acción. Por esta razón, conocer anticipadamente el obstáculo permite preparar alternativas y reducir el efecto que este puede producir sobre la continuidad de la operación.

En este contexto, el UAS fue relacionado con la posibilidad de proporcionar información antes de que la fuerza quede completamente comprometida frente al obstáculo. Los entrevistados consideraron que una observación anticipada y la actualización de la situación pueden ayudar a que Ingeniería prepare su intervención y que el comandante disponga de mayor información para mantener la continuidad de la maniobra.

4.2.2.5.2 Observación. En las actividades de planeamiento y coordinación se observó que las acciones de Ingeniería relacionadas con obstáculos y movilidad se desarrollaron en función de necesidades más amplias de movimiento. La información disponible sobre el terreno y los obstáculos influyó en la preparación y coordinación de las acciones que debían ejecutarse.

No se observó un UAS integrado directamente a una apertura de brecha. Sin embargo, las actividades registradas permitieron reconocer que disponer anticipadamente de

información sobre el terreno y los obstáculos puede favorecer la preparación de las acciones de Ingeniería y reducir demoras durante la ejecución.

Esta situación mostró nuevamente una separación entre la capacidad de obtención de información observada en los UAS y las necesidades operacionales identificadas durante las actividades de Ingeniería. La posible integración se encontraría en conectar ambas capacidades de manera que la información obtenida pueda responder a las necesidades de la maniobra.

4.2.2.5.3 Análisis documental. El Department of the Army (2025), mediante el FM 3-34, desarrolla las operaciones de Ingeniería como parte del apoyo que permite a la fuerza mantener su libertad de movimiento y superar los obstáculos que afectan la maniobra.

Desde esta perspectiva, la apertura de una brecha no constituye una finalidad independiente, sino una acción que debe responder a las necesidades de la operación. Este enfoque permitió considerar que el empleo de UAS también debe estar subordinado a esa finalidad. Su aporte se encontraría en obtener y actualizar información que ayude a anticipar la presencia del obstáculo, preparar la intervención de Ingeniería y mantener una comprensión suficiente de la situación para apoyar la continuidad de la maniobra.

4.2.3 Categoría C3 Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas

4.2.3.1 SC11 Requerimientos Tecnológicos

4.2.3.1.1 Entrevista. Los entrevistados señalaron que las características tecnológicas del UAS deben responder a las condiciones reales en las que será empleado. Entre los aspectos mencionados estuvieron la autonomía, el alcance, la capacidad de carga útil, la estabilidad, la precisión de navegación, los sensores disponibles y la calidad del enlace. También consideraron las condiciones del entorno, debido a que factores como el viento, el polvo, la vegetación, la temperatura o las características del terreno pueden influir en el desempeño del sistema.

Los participantes evitaron plantear la existencia de un UAS ideal para todas las situaciones. Por el contrario, señalaron que una plataforma puede resultar adecuada para

realizar reconocimiento visual y presentar limitaciones cuando se requiere transportar sensores especializados o mantener observación durante periodos mayores. Esta situación mostró la necesidad de valorar las características del sistema de acuerdo con aquello que se espera obtener durante la operación.

También se destacó que el requerimiento tecnológico no termina en las prestaciones de la aeronave. Los entrevistados mencionaron aspectos relacionados con el mantenimiento, la disponibilidad y la posibilidad de sostener la capacidad dentro de la organización. Desde esta perspectiva, una tecnología con mayores prestaciones no necesariamente representa la alternativa más conveniente si resulta difícil mantenerla, entrenar al personal o disponer de ella cuando la operación la requiere.

4.2.3.1.2 Observación. En las actividades donde se emplearon UAS se observaron capacidades orientadas principalmente al reconocimiento visual y a la obtención de información general del terreno. Estas actividades permitieron comprobar la posibilidad de observar sectores de interés y obtener imágenes sin aproximar inicialmente al personal.

Sin embargo, no se registró el empleo de sensores especializados para la detección de minas ni una configuración tecnológica preparada específicamente para apoyar operaciones de apertura de brechas. Esta diferencia permitió reconocer que las capacidades observadas no responden por sí solas a todas las necesidades identificadas durante las actividades de Ingeniería.

La evidencia mostró que una posible incorporación a estas operaciones requeriría relacionar las características de la plataforma y sus sensores con aquello que necesita realizar Ingeniería. Por ello, la existencia del UAS constituye solamente una parte de la capacidad necesaria; su configuración tecnológica tendría que responder al tipo de información requerida y a las condiciones en las que se desarrollará la tarea.

4.2.3.1.3 Análisis documental. Los estudios tecnológicos revisados mostraron que las capacidades de los UAS dependen de la relación entre la plataforma, los sensores incorporados y las condiciones en las que se realiza la misión. García-Fernández et al. (2023) permitieron examinar las posibilidades de incorporar tecnologías de sensado desde

plataformas aéreas para obtener información que no necesariamente puede conseguirse mediante una observación visual convencional.

Los demás estudios especializados incluidos en el análisis documental mostraron igualmente que el desempeño de los sensores y sistemas de procesamiento se encuentra condicionado por las características del objetivo y del entorno. Estos aportes permitieron considerar que los requerimientos tecnológicos deben definirse a partir de la autonomía, carga útil, sensores, navegación, comunicaciones y capacidad para obtener información con el nivel de detalle requerido, evitando seleccionar una plataforma únicamente por sus prestaciones generales.

4.2.3.2 SC12 Requerimientos de la tarea

4.2.3.2.1 Entrevista. Los entrevistados coincidieron en que la definición de la tarea debe preceder a la selección de la plataforma y de los sensores. Señalaron que primero resulta necesario establecer qué se necesita conocer, qué sector debe reconocerse, qué amenaza se busca identificar, durante cuánto tiempo se requiere mantener la observación y con qué oportunidad debe llegar la información.

Los testimonios mostraron que las exigencias cambian según la actividad que deba desarrollarse. Un reconocimiento visual de un área extensa presenta necesidades diferentes a la observación detallada de un sector reducido o al empleo de un sensor especializado. De igual manera, las características necesarias para obtener información durante el planeamiento pueden diferir de aquellas requeridas para mantener vigilancia mientras se desarrolla el brechado.

Los participantes también advirtieron sobre el riesgo de invertir este razonamiento y buscar una función para una plataforma simplemente porque se encuentra disponible. Desde esta perspectiva, el UAS debe ser seleccionado y configurado de acuerdo con la tarea que necesita realizar Ingeniería y con la información que requiere la operación.

4.2.3.2.2 Observación. Las actividades de Ingeniería permitieron observar que las necesidades de información variaron de acuerdo con la tarea desarrollada. Durante el reconocimiento resultó necesario conocer las características del terreno, los accesos y los

obstáculos, mientras que las actividades relacionadas con su superación demandaron información que permitiera orientar las acciones y mantener la movilidad.

Por otro lado, los UAS observados fueron empleados principalmente para reconocimiento general y obtención de imágenes, sin evidenciarse una asignación específicamente vinculada con las necesidades del brechado. La comparación entre ambas actividades mostró que la disponibilidad de una capacidad tecnológica no garantiza por sí misma que esta responda a las necesidades del elemento de Ingeniería.

Esta separación permitió reconocer la importancia de definir primero la tarea y los requerimientos de información. A partir de ellos puede determinarse qué capacidad del UAS resulta necesaria y bajo qué condiciones debería emplearse.

4.2.3.2.3 Análisis documental. Goodhue y Thompson (1995) plantearon, mediante la teoría del ajuste tarea-tecnología, que el desempeño se encuentra relacionado con el grado en que las capacidades de una tecnología responden a las exigencias de las tareas que debe desarrollar el usuario.

Este planteamiento permitió analizar el empleo de UAS evitando partir únicamente de las características disponibles en una determinada plataforma. Aplicado a la apertura de brechas, primero deben reconocerse las tareas y necesidades de información que presenta Ingeniería y, posteriormente, determinar qué capacidades tecnológicas pueden responder a ellas.

Desde esta perspectiva, la utilidad del UAS depende del ajuste entre aquello que necesita realizarse y aquello que el sistema realmente puede proporcionar. Esta relación resulta especialmente importante frente a tareas de detección, donde las capacidades y limitaciones de los sensores deben corresponder con el tipo de amenaza y las condiciones del terreno.

4.2.3.3 SC13 Requerimientos de Información y comunicaciones

4.2.3.3.1 Entrevista. Los entrevistados señalaron que la información obtenida mediante el UAS adquiere utilidad cuando llega oportunamente a la persona que la necesita. Por ello, destacaron la importancia de disponer de enlaces confiables y de establecer un flujo

que permita conocer quién solicita la información, quién la obtiene, quién la analiza y quién debe recibirla.

Los participantes también diferenciaron entre aquella información que requiere ser transmitida inmediatamente y la que puede someterse a un procesamiento mayor. Una alerta relacionada con una posible amenaza puede requerir comunicación rápida, mientras que determinados productos cartográficos o análisis pueden necesitar más tiempo antes de ser distribuidos. Esta diferencia fue considerada importante para evitar saturar a los usuarios con datos que todavía no han sido interpretados.

Otro aspecto mencionado fue la interoperabilidad. Los entrevistados consideraron necesario que los productos obtenidos puedan ser comprendidos y utilizados por Ingeniería, el Estado Mayor y los demás usuarios involucrados. En consecuencia, las comunicaciones no fueron entendidas únicamente como la existencia de un enlace técnico, sino como parte de una cadena que debe permitir que el dato obtenido termine convirtiéndose en información útil para una decisión o una acción.

4.2.3.3.2 Observación. En las actividades observadas se identificó la necesidad de que la información relacionada con el terreno, los obstáculos y la movilidad llegue de manera clara y oportuna a quienes participan en el planeamiento y la ejecución.

En las actividades con UAS se observó la obtención de imágenes e información del terreno. Sin embargo, no se registró un flujo establecido que conectara específicamente al operador del sistema con el personal encargado del reconocimiento o de la apertura de una brecha. Del mismo modo, no se observó un procedimiento mediante el cual Ingeniería pudiera formular requerimientos de información y recibir posteriormente un producto elaborado a partir de ellos.

Esta situación permitió reconocer que la capacidad para obtener información y la capacidad para utilizarla se encontraban separadas en las actividades observadas. Una posible integración requeriría establecer procedimientos de comunicación y distribución que permitan relacionar directamente la información obtenida por el UAS con las necesidades de Ingeniería y del planeamiento.

4.2.3.3.3 Análisis documental. Endsley y Garland (2000) permitieron comprender que la información contribuye a la conciencia situacional cuando puede ser percibida, comprendida y relacionada con el desarrollo de la situación. Desde esta perspectiva, una gran cantidad de datos no garantiza por sí misma una mejor comprensión si estos no llegan de forma adecuada al usuario.

De manera complementaria, la perspectiva sociotécnica examinada por Abbas y Michael (2025) permitió considerar que la tecnología, las personas y los procesos organizacionales deben relacionarse entre sí. Aplicado al empleo de UAS, este enfoque permitió reconocer que el enlace técnico constituye solamente una parte del requerimiento. También resulta necesario definir cómo se organiza la información, quién la procesa, qué usuario la necesita y mediante qué procedimientos se incorpora a las decisiones relacionadas con el brechado.

Ambos aportes permitieron considerar que la información y las comunicaciones constituyen un vínculo entre la capacidad tecnológica del UAS y su empleo operacional. Si ese vínculo no se encuentra establecido, la obtención de datos puede quedar separada de las necesidades reales de Ingeniería.

4.2.3.4 SC14 Requerimientos de Personal

4.2.3.4.1 Entrevista*.* Los entrevistados señalaron que incorporar UAS en operaciones de apertura de brechas requiere personal con conocimientos diferentes pero complementarios. Identificaron al operador de la aeronave, al personal encargado de los sensores y del procesamiento de información, y al especialista de Ingeniería que conoce las necesidades propias del reconocimiento y del brechado.

Los participantes no consideraron necesario que una sola persona concentre todas estas capacidades. Por el contrario, destacaron la importancia de que las diferentes especialidades trabajen de manera coordinada. El operador debe comprender qué información necesita Ingeniería, mientras que el personal de Ingeniería debe conocer las posibilidades y limitaciones del sistema para formular requerimientos que puedan ser atendidos realmente.

También se destacó la necesidad de entrenamiento conjunto. Los entrevistados señalaron que la integración no debería comenzar cuando la fuerza ya se encuentra frente al obstáculo. El personal debe haber trabajado previamente los procedimientos, conocer las funciones de los demás participantes y desarrollar una forma común de interpretar y comunicar la información obtenida.

4.2.3.4.2 Observación. En las actividades con UAS se observó personal responsable de la operación del sistema y del manejo de la información obtenida. Por otro lado, en las actividades de Ingeniería participaron especialistas encargados del reconocimiento, la movilidad y los procedimientos relacionados con la superación de obstáculos.

No se registró una actividad en la que ambos grupos trabajaran integrados específicamente para apoyar una apertura de brecha en campos minados. Esta situación permitió identificar una separación entre quienes disponen de la capacidad tecnológica y quienes conocen las necesidades particulares del brechado.

La evidencia observada mostró que una posible integración requeriría relacionar ambas especialidades. El operador y el personal encargado de los sensores necesitan comprender qué información requiere Ingeniería, mientras que los ingenieros necesitan conocer qué productos puede proporcionar el sistema y cuáles son sus limitaciones.

4.2.3.4.3 Análisis documental. La perspectiva sociotécnica analizada por Abbas y Michael (2025) permitió considerar que la incorporación de una tecnología no puede evaluarse separadamente de las personas que la utilizan y de las funciones que estas desarrollan dentro de una organización.

Aplicado al objeto de estudio, este enfoque permitió comprender que disponer de un UAS y de sensores adecuados constituye solamente una parte de la capacidad. También se requiere personal preparado para operar el sistema, analizar sus productos y relacionarlos con las necesidades de Ingeniería.

Esta perspectiva respaldó la necesidad de considerar funciones diferenciadas y entrenamiento conjunto. La integración depende de que los conocimientos tecnológicos y operacionales puedan complementarse, evitando que la información obtenida permanezca

aislada de quienes finalmente deben utilizarla durante el reconocimiento y la apertura de la brecha.

4.2.3.5 SC15 Requerimientos Organizacionales

4.2.3.5.1 Entrevista. Los entrevistados señalaron que la incorporación de UAS requiere establecer responsabilidades y relaciones claras entre el elemento que opera el sistema, Ingeniería y el Estado Mayor. Entre los aspectos mencionados estuvieron quién solicita una misión, quién determina las prioridades de reconocimiento, quién controla el UAS, quién analiza los datos obtenidos y quién recibe la información resultante.

También destacaron que esta coordinación debe comenzar durante el planeamiento. Si el empleo del UAS recién se organiza cuando la fuerza encuentra el campo minado, pueden aparecer dificultades para establecer qué información se necesita y cómo debe obtenerse. Por ello, los participantes consideraron necesario que los requerimientos de Ingeniería formen parte de la preparación de la misión UAS desde un momento previo.

Los testimonios también relacionaron este requerimiento con la existencia de procedimientos y entrenamiento conjunto. La organización no debe depender únicamente de coordinaciones circunstanciales entre personas, sino contar con responsabilidades conocidas y mecanismos que permitan integrar la capacidad UAS con las necesidades del brechado y de la maniobra.

4.2.3.5.2 Observación. Las actividades observadas mostraron que el empleo de UAS y las tareas desarrolladas por Ingeniería se realizaron de manera diferenciada. No se registró una estructura específica destinada a integrar ambas capacidades para una operación de apertura de brechas.

Tampoco se evidenció un procedimiento mediante el cual Ingeniería pudiera solicitar una misión UAS orientada al obstáculo, establecer prioridades, recibir un producto procesado y utilizarlo posteriormente durante el brechado. Esta ausencia resultó relevante porque permitió identificar que la disponibilidad de capacidades por separado no equivale a disponer de una capacidad integrada.

Las actividades de planeamiento y coordinación mostraron, al mismo tiempo, la importancia de definir responsabilidades y mantener relaciones entre los elementos que participan en una operación. En este sentido, la evidencia permitió reconocer la necesidad de establecer una estructura de coordinación que conecte el empleo del UAS con Ingeniería y con los responsables de conducir la maniobra.

4.2.3.5.3 Análisis documental. La perspectiva sociotécnica examinada por Abbas y Michael (2025) permitió comprender que una tecnología forma parte de un sistema en el que también intervienen personas, procesos y estructuras organizacionales. Por ello, la incorporación de una nueva capacidad requiere analizar cómo modifica o se relaciona con las funciones existentes.

Este enfoque permitió considerar que integrar UAS en las operaciones de apertura de brechas no consiste únicamente en asignar una aeronave a un elemento de Ingeniería. También requiere establecer responsabilidades, procedimientos de coordinación, prioridades de empleo y mecanismos para procesar y distribuir la información.

Desde esta perspectiva, la organización constituye el elemento que permite articular los demás requerimientos identificados. Las características tecnológicas deben responder a una tarea, la información debe llegar a los usuarios correspondientes y el personal debe conocer sus funciones. Para que estas condiciones puedan operar de manera conjunta, resulta necesario establecer previamente cómo se relacionarán dentro del planeamiento y la ejecución de la operación.

4.3 Red Semántica

Las redes semánticas permitieron organizar gráficamente las categorías y subcategorías consideradas durante el análisis cualitativo, facilitando la comprensión de las relaciones encontradas entre sus diferentes componentes. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) explican que las representaciones gráficas constituyen un recurso útil para organizar la información cualitativa y reconocer las relaciones entre los conceptos identificados durante el análisis. En esa misma línea, Monje (2011) señala que este tipo de organización facilita la

interpretación de la información y permite comprender con mayor claridad los componentes que forman parte del objeto de estudio.

4.3.1 Red semántica General

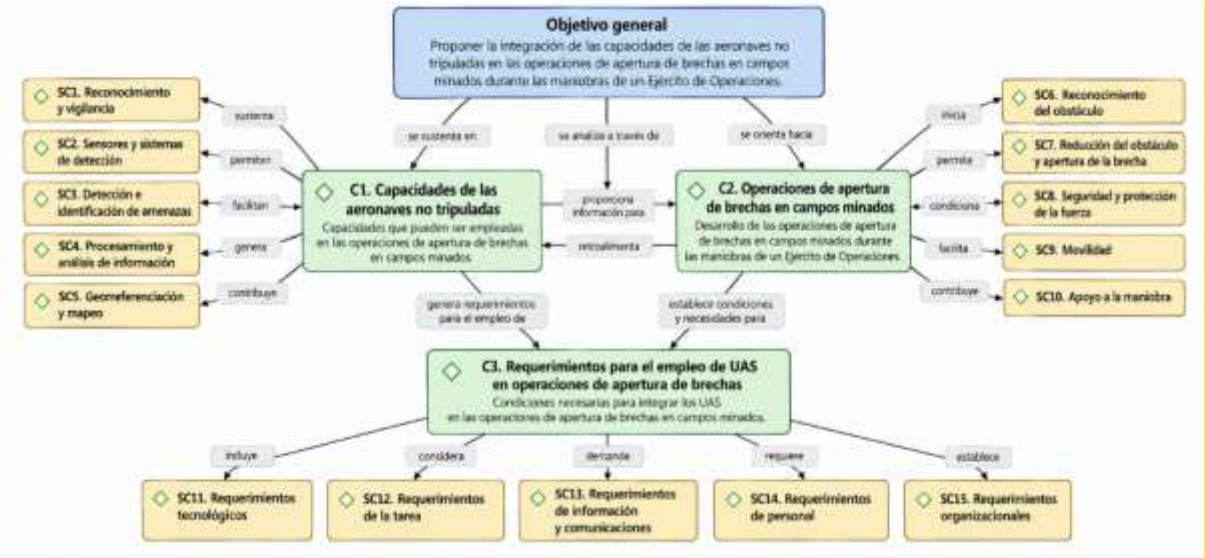
En la presente investigación, las redes semánticas se estructuraron tomando como referencia el objetivo general, orientado a proponer la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones. Para ello, se consideraron las tres categorías y las quince subcategorías establecidas en la matriz de categorización, así como las relaciones identificadas durante el soporte de categorías a partir de las entrevistas semiestructuradas, la observación y el análisis documental.

Esta representación permitió visualizar tres aspectos que se encontraron relacionados durante el análisis. El primero correspondió a las capacidades que pueden proporcionar los UAS para reconocer, observar, detectar indicios, procesar información y representar espacialmente los sectores de interés. El segundo estuvo relacionado con las necesidades propias de las operaciones de apertura de brechas, particularmente el reconocimiento del obstáculo, su reducción, la protección de la fuerza, la movilidad y el apoyo a la maniobra. El tercero comprendió los requerimientos tecnológicos, de la tarea, de información y comunicaciones, de personal y organizacionales necesarios para relacionar las capacidades del UAS con las necesidades del brechado.

Para presentar esta organización se elaboraron cuatro redes semánticas. La primera integró el objetivo general con las tres categorías y sus respectivas subcategorías, permitiendo visualizar la estructura general de la investigación. Posteriormente, se desarrolló una red específica para cada categoría, con la finalidad de representar con mayor detalle las relaciones existentes entre sus componentes.

Figura 2

Red semántica general de categorías



La red semántica general muestra la estructura conceptual de la investigación a partir de las tres categorías que orientaron el estudio. La primera, Capacidades de las aeronaves no tripuladas, reúne cinco subcategorías relacionadas con el reconocimiento y vigilancia, los sensores y sistemas de detección, la detección e identificación de amenazas, el procesamiento y análisis de información y la georreferenciación y mapeo. La segunda, Operaciones de apertura de brechas en campos minados, comprende el reconocimiento del obstáculo, la reducción del obstáculo y apertura de la brecha, la seguridad y protección de la fuerza, la movilidad y el apoyo a la maniobra. La tercera categoría, Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas, integra los requerimientos tecnológicos, de la tarea, de información y comunicaciones, de personal y organizacionales.

Como se aprecia en la figura 2, las tres categorías mantienen relación con el objetivo general y, al mismo tiempo, presentan vínculos entre ellas. Las capacidades del UAS adquieren utilidad para el brechado cuando responden a necesidades concretas de reconocimiento e información; por su parte, las operaciones de apertura de brechas plantean tareas y necesidades que permiten determinar qué capacidades pueden resultar útiles. Entre ambos componentes se encuentran los requerimientos que hacen posible su articulación,

debido a que la disponibilidad de una plataforma o de un sensor no significa por sí sola que exista una capacidad integrada.

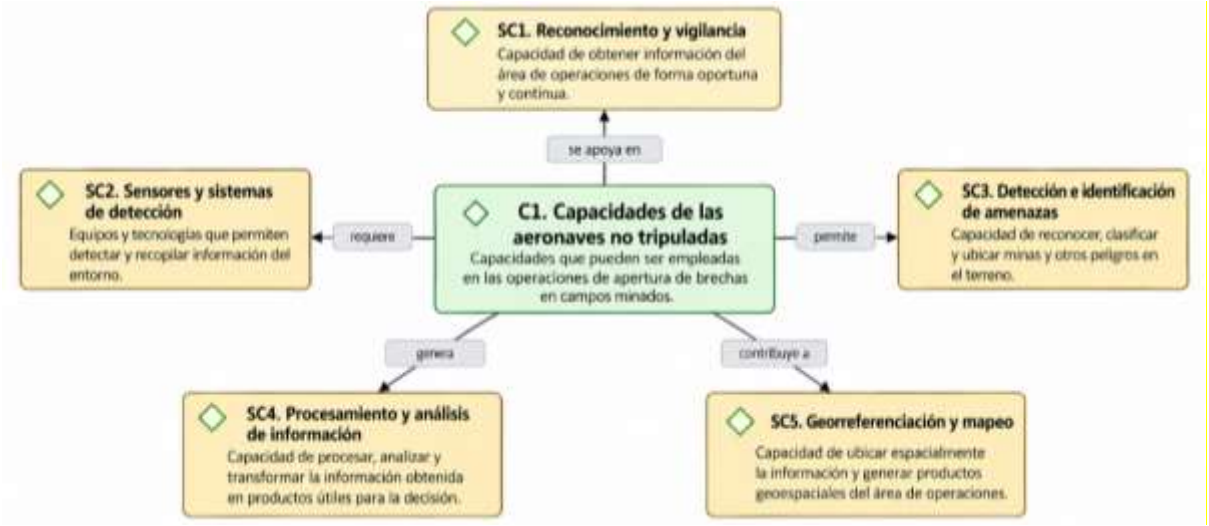
Por tanto, la relación representada no plantea que una categoría determine automáticamente a las demás. Más bien, permite mostrar que la integración depende de la correspondencia entre las necesidades del brechado, las capacidades que puede proporcionar el UAS y las condiciones necesarias para que la información obtenida pueda ser utilizada durante el planeamiento y la ejecución de la operación.

4.3.2 Red semántica de la categoría Capacidades de las aeronaves no tripuladas

La primera categoría corresponde a las Capacidades de las aeronaves no tripuladas. Para comprender su organización interna, se elaboró una red específica que integra sus cinco subcategorías y representa la relación existente entre la obtención inicial de datos, su interpretación y su posterior utilización como información sobre el área de interés.

Figura 3

Red semántica de la categoría Capacidades de las aeronaves no tripuladas



La red semántica muestra que el reconocimiento y vigilancia constituye un punto inicial para obtener información sobre el terreno y mantener observación sobre los sectores de interés. Esta capacidad se relaciona con los sensores y sistemas de detección, debido a que las características de aquello que puede observarse o identificarse dependen, en buena medida, del tipo de sensor incorporado a la plataforma.

Los sensores, a su vez, se relacionan con la detección e identificación de amenazas. El análisis mostró que esta relación debe entenderse con cautela, debido a que una señal o anomalía obtenida mediante un sensor no representa necesariamente la confirmación de una mina. La identificación de indicios requiere interpretación y, cuando corresponda, contraste con otras fuentes o medios antes de ser considerada información suficientemente confiable para apoyar una decisión.

El procesamiento y análisis de información cumple una función importante dentro de esta relación, ya que permite transformar las imágenes, señales o datos obtenidos en productos que puedan ser comprendidos por el personal de Ingeniería. Asimismo, la georreferenciación y el mapeo permiten asociar esa información con una ubicación concreta y representarla sobre una referencia común del terreno.

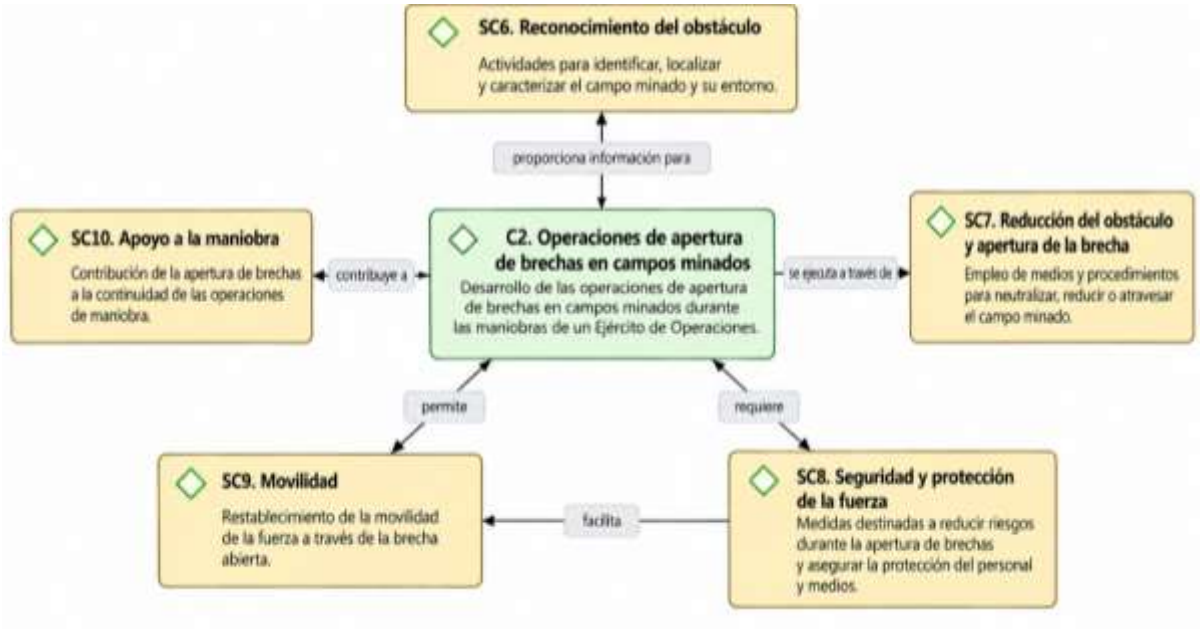
Estas relaciones permitieron comprender que la capacidad del UAS no depende solamente de volar sobre un sector o disponer de un determinado sensor. Su utilidad se encuentra también relacionada con la posibilidad de obtener datos relevantes, interpretarlos adecuadamente, establecer sus limitaciones y ubicarlos espacialmente para que puedan apoyar las necesidades de reconocimiento y planeamiento.

4.3.3 Red semántica de la categoría Operaciones de apertura de brechas en campos minados

La segunda categoría corresponde a las Operaciones de apertura de brechas en campos minados. Su red semántica integra cinco subcategorías relacionadas con el conocimiento del obstáculo, su superación y la necesidad de mantener la movilidad y continuidad de la maniobra.

Figura 4

Categoría Operaciones de apertura de brechas en campos minados



La seguridad y protección de la fuerza mantiene relación con ambas subcategorías. El reconocimiento permite disminuir parte de la incertidumbre antes de comprometer al personal, mientras que durante la reducción resulta necesario mantener procedimientos de seguridad y coordinación debido a los riesgos propios de la operación. El análisis mostró que el empleo de UAS puede contribuir a disminuir determinadas exposiciones durante la obtención inicial de información, pero no elimina los riesgos ni reemplaza las medidas de protección propias del brechado.

Por su parte, la reducción del obstáculo se encuentra vinculada con la movilidad, debido a que la apertura de una brecha busca generar un paso que permita a la fuerza superar la restricción impuesta por el campo minado. La movilidad, a su vez, se relaciona con el apoyo a la maniobra, ya que recuperar el movimiento solamente adquiere sentido cuando permite mantener la continuidad y el ritmo de la operación prevista.

Estas relaciones permitieron comprender que la apertura de una brecha no constituye una actividad aislada. Parte de una necesidad de reconocimiento, requiere una intervención sobre el obstáculo bajo condiciones de seguridad y busca recuperar la movilidad necesaria para apoyar la continuidad de la maniobra.

4.3.4 Red semántica de la categoría Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas

La tercera categoría corresponde a los Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas. Su red semántica integra cinco subcategorías que permiten representar las condiciones necesarias para relacionar las capacidades tecnológicas disponibles con las necesidades propias del brechado.

Figura 5

Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas



La red semántica muestra que los requerimientos de la tarea constituyen una referencia importante para determinar las características tecnológicas necesarias. El análisis permitió reconocer que primero debe establecerse qué información necesita Ingeniería, qué sector debe reconocerse, qué nivel de detalle se requiere y bajo qué condiciones se desarrollará la misión. A partir de estas necesidades pueden determinarse aspectos tecnológicos como la plataforma, autonomía, carga útil, sensores, navegación y capacidades de enlace.

Los requerimientos tecnológicos se relacionan, a su vez, con la información y las comunicaciones. No resulta suficiente que el sistema pueda obtener datos si estos no pueden ser procesados, transmitidos y puestos a disposición del usuario con la oportunidad necesaria. Esta relación implica considerar tanto el enlace técnico como el flujo que sigue la

información desde su obtención hasta su utilización durante el planeamiento o la ejecución del brechado.

El personal constituye otro componente de esta relación. Los resultados mostraron la necesidad de articular al operador del UAS, al personal que maneja o analiza los sensores y al especialista de Ingeniería que conoce las necesidades del obstáculo y del brechado. La utilidad de la información depende, en parte, de que estas funciones puedan trabajar de manera coordinada y comprender las posibilidades y limitaciones de cada especialidad.

Los requerimientos organizacionales permiten relacionar los componentes anteriores mediante responsabilidades, procedimientos, prioridades y mecanismos de coordinación. La organización debe establecer quién solicita la misión, quién determina las necesidades de información, quién opera el sistema, quién procesa los datos y cómo el producto resultante llega al elemento de Ingeniería y a los niveles encargados de conducir la maniobra.

Las relaciones representadas permitieron comprender que la integración de UAS en operaciones de apertura de brechas no depende únicamente de incorporar una nueva plataforma. Requiere que la tecnología responda a la tarea, que la información pueda circular y ser utilizada, que exista personal preparado y que la organización establezca cómo se relacionarán estos componentes durante el planeamiento y la ejecución. De esta manera, la tercera categoría constituye el vínculo que permite pasar de capacidades disponibles por separado hacia una propuesta de empleo articulada con las necesidades del brechado.

4.4 Triangulación

La triangulación permitió contrastar la información procedente de las diferentes técnicas empleadas en la investigación, con la finalidad de comprender desde distintas perspectivas la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) explican que este procedimiento contribuye al análisis cualitativo al incorporar diversas fuentes sobre una misma realidad, proporcionando mayores elementos para sustentar las interpretaciones realizadas.

Este procedimiento no consistió únicamente en buscar coincidencias entre las fuentes. También permitió reconocer diferencias, limitaciones y aspectos que requerían una mayor interpretación. Monje (2011) señala que el contraste de distintas perspectivas fortalece la credibilidad del análisis cualitativo. Bajo este criterio, las apreciaciones de los especialistas entrevistados, las situaciones registradas mediante la observación y los aportes encontrados en las fuentes documentales fueron considerados de acuerdo con sus propias características, evitando asumir que necesariamente debían mostrar los mismos resultados.

Por su parte, Medina et al. (2023) destacan la importancia de emplear diferentes técnicas para fortalecer el rigor metodológico. Este planteamiento permitió orientar el contraste entre las fuentes y relacionar los resultados obtenidos con las bases teóricas y doctrinarias del estudio, sin asumir que las posibilidades descritas en la literatura debían encontrarse necesariamente implementadas o verificadas durante las actividades observadas.

Para desarrollar la triangulación, se tomó como punto de partida la información organizada en las tablas anteriores. La Tabla 3 permitió identificar los testimonios de los seis entrevistados y sus respectivas unidades de análisis, mientras que la Tabla 4 reunió los principales aspectos identificados a partir de estas respuestas. Por su parte, la Tabla 5 presentó las evidencias obtenidas mediante las seis guías de observación cualitativa y la Tabla 6 incorporó los aportes doctrinarios y académicos considerados durante el análisis documental. A partir de esta información, se realizó el contraste entre las tres fuentes tomando como referencia las quince subcategorías establecidas en la matriz de categorización y su distribución dentro de las categorías Capacidades de las aeronaves no tripuladas, Operaciones de apertura de brechas en campos minados y Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas.

En la categoría Capacidades de las aeronaves no tripuladas, el análisis comprendió el reconocimiento y vigilancia, los sensores y sistemas de detección, la detección e identificación de amenazas, el procesamiento y análisis de información y la georreferenciación y mapeo. El contraste de estas subcategorías estuvo orientado a

reconocer qué capacidades podrían aportar los UAS al conocimiento del terreno y del obstáculo, así como las limitaciones que deben considerarse para evitar atribuir al sistema capacidades de detección o identificación que no fueron verificadas durante el trabajo de campo.

Respecto a la categoría Operaciones de apertura de brechas en campos minados, se consideraron el reconocimiento del obstáculo, la reducción del obstáculo y apertura de la brecha, la seguridad y protección de la fuerza, la movilidad y el apoyo a la maniobra. El contraste estuvo orientado a comprender las necesidades que presenta el brechado y la forma en que la información obtenida mediante UAS podría apoyar determinadas actividades. Para ello, se mantuvo la diferencia entre proporcionar información para apoyar la operación y ejecutar directamente la reducción del obstáculo, función que continúa correspondiendo a los medios y procedimientos propios de Ingeniería.

En la categoría Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas, se analizaron los requerimientos tecnológicos, de la tarea, de información y comunicaciones, de personal y organizacionales. Estas subcategorías permitieron contrastar las condiciones señaladas por los especialistas con las situaciones encontradas durante la observación y con los planteamientos provenientes de la teoría del ajuste tarea-tecnología y de la perspectiva sociotécnica. De esta manera, fue posible examinar no solamente qué capacidades puede proporcionar un UAS, sino también qué condiciones deben existir para que estas respondan a las necesidades del brechado.

El contraste entre las tres fuentes permitió reconocer una relación importante entre las categorías. Las entrevistas mostraron las posibilidades que los especialistas atribuyen al empleo de UAS y, al mismo tiempo, señalaron límites relacionados con la detección, la confiabilidad de la información y la necesidad de integrar diferentes especialidades. La observación permitió identificar capacidades de reconocimiento y obtención de información mediante UAS, así como necesidades propias de las actividades de Ingeniería; sin embargo, estas se encontraron desarrolladas de manera separada y no se observó una operación integrada de UAS y apertura de brechas en campos minados. Por su parte, el análisis

documental proporcionó fundamentos doctrinarios, tecnológicos y teóricos para interpretar tanto las posibilidades como las condiciones necesarias para relacionar ambas capacidades.

Esta diferencia entre las fuentes no fue considerada una contradicción. Por el contrario, permitió precisar el problema de integración. Mientras las entrevistas y la literatura mostraron posibilidades de empleo y condiciones necesarias, la observación evidenció que las capacidades UAS y las necesidades de Ingeniería todavía se presentaban de manera separada en las actividades analizadas. Esta situación permitió reconocer que la integración no depende solamente de disponer de una aeronave no tripulada o de incorporar un determinado sensor, sino de establecer una correspondencia entre la tarea, la tecnología, la información, el personal y la organización.

De esta manera, la triangulación proporcionó una base para relacionar las capacidades de los UAS con las necesidades de las operaciones de apertura de brechas y con los requerimientos necesarios para su posible integración. Asimismo, permitió mantener una diferencia entre las capacidades tecnológicas identificadas en la literatura, las apreciaciones proporcionadas por los especialistas y aquello que efectivamente pudo observarse durante el trabajo de campo. Este contraste sirvió como base para organizar los resultados de la investigación y posteriormente formular la propuesta conceptual de integración de UAS en las operaciones de apertura de brechas durante las maniobras de un Ejército de Operaciones.

Tabla 7

Triangulación integral mediante las técnicas cualitativas

Subcategorías	Técnicas	Triangulación integral de técnicas cualitativas
SC01. Reconocimiento y vigilancia	**Entrevista**	Los especialistas consideran que los UAS pueden ampliar el reconocimiento previo y mantener vigilancia sobre el área de interés, proporcionando información sobre el terreno, accesos y sectores relevantes antes y durante la operación. También señalan que esta capacidad puede disminuir la exposición inicial del personal, aunque no sustituye el reconocimiento especializado de Ingeniería.
	Observación	Se registró el empleo de UAS para observar el terreno y obtener imágenes a distancia. Esta capacidad permitió reconocer sectores visibles sin aproximar inicialmente al personal; sin embargo, no se observó su empleo integrado durante el reconocimiento de un campo minado ni en una operación de apertura de brecha.
	Indagación documental	Las fuentes doctrinarias y académicas revisadas muestran la importancia de obtener información anticipada sobre el terreno y los obstáculos, así como las posibilidades de los sistemas no tripulados para ampliar la observación remota. El reconocimiento adquiere utilidad cuando responde a requerimientos concretos de información vinculados con la operación.
	Síntesis integrativa	El principal aporte del UAS al reconocimiento no se encuentra en reemplazar los procedimientos de Ingeniería, sino en **ampliar la información disponible antes de exponer al personal y mantener observación sobre sectores de interés**. Las tres fuentes permiten diferenciar una capacidad actualmente observable —reconocer visualmente el terreno— de una capacidad específica para reconocer campos minados que no fue comprobada durante el trabajo de campo. Por ello, su integración requiere orientar la misión UAS hacia necesidades concretas de Ingeniería y complementar sus productos con otros medios de reconocimiento.
SC02. Sensores y sistemas de detección	**Entrevista**	Los entrevistados mencionan cámaras electroópticas, sensores térmicos, magnetómetros y otras tecnologías capaces de aportar información sobre posibles amenazas. Coinciden en que ningún sensor garantiza por sí solo la detección de todas las minas y que su utilidad depende del terreno, la amenaza y las condiciones de empleo.
	Observación	Los UAS observados utilizaron principalmente medios para reconocimiento visual y obtención de imágenes. No se registró el empleo de sensores especializados destinados a detectar minas u otros objetos enterrados.
	Indagación documental	Los estudios tecnológicos revisados muestran diferentes posibilidades de sensado desde plataformas no tripuladas y, al mismo tiempo, limitaciones condicionadas por las características del objetivo, el terreno y el entorno. Las fuentes permiten considerar la complementariedad de sensores antes que la dependencia de una sola tecnología.
	Síntesis integrativa	La posibilidad de emplear UAS para apoyar la detección depende **menos de la aeronave en sí misma que de la relación entre sensor, amenaza, terreno y tarea**. Las entrevistas y la documentación muestran alternativas tecnológicas que no estuvieron presentes en las actividades observadas. Esta diferencia indica que los sensores especializados deben entenderse como un **requerimiento para una futura integración** y

Subcategorías	Técnicas	Triangulación integral de técnicas cualitativas
		no como una capacidad de detección demostrada por esta investigación. Su selección debería partir de aquello que Ingeniería necesita identificar y de las condiciones en las que deberá hacerlo.
SC03. Detección e identificación de amenazas	**Entrevista**	Los especialistas distinguen entre detectar una anomalía o indicio e identificar una amenaza de manera confirmada. También advierten sobre falsos positivos, amenazas no detectadas y el riesgo de considerar seguro un sector únicamente porque el sistema no produjo una alerta.
	Observación	Los UAS permitieron observar características visibles del terreno y determinados obstáculos, pero no se registró la detección ni confirmación de minas enterradas. En las actividades de Ingeniería, la identificación de obstáculos se realizó mediante procedimientos propios del personal participante.
	Indagación documental	Los estudios analizados muestran que las respuestas obtenidas mediante sensores necesitan interpretación y pueden variar según las características físicas del objetivo y del entorno. La literatura respalda la necesidad de considerar niveles de confianza, limitaciones y complementariedad entre diferentes fuentes.
	Síntesis integrativa	Las tres fuentes permiten establecer una distinción fundamental para la propuesta: **detectar un indicio no equivale a confirmar una mina y no detectar una señal tampoco permite declarar libre un sector**. En consecuencia, el producto del UAS debería expresar claramente qué información constituye una observación, una anomalía o una amenaza confirmada. Esta diferenciación evita trasladar al personal de Ingeniería una certeza que el sistema realmente no puede proporcionar y convierte la confiabilidad de la información en una condición de seguridad operacional.
SC04. Procesamiento y análisis de información	**Entrevista**	Los participantes señalan que las imágenes y datos obtenidos necesitan ser procesados para convertirse en información útil. Consideran necesario identificar elementos relevantes, establecer su ubicación, diferenciar indicios de información confirmada y comunicar el grado de confianza del producto.
	Observación	Se registró la obtención y visualización de imágenes mediante UAS, pero no un procedimiento específico que transformara esos datos en productos destinados al reconocimiento de campos minados o al apoyo de una apertura de brecha.
	Indagación documental	Las fuentes revisadas permiten comprender que disponer de datos no garantiza por sí mismo una adecuada comprensión de la situación. La información necesita ser seleccionada, interpretada y presentada de acuerdo con las necesidades del usuario.
	Síntesis integrativa	El análisis muestra que el verdadero valor operacional del UAS aparece **cuando el dato deja de ser solamente una imagen o señal y se convierte en información comprensible para Ingeniería**. La observación evidenció capacidad para obtener datos, mientras las entrevistas y documentos mostraron la necesidad de interpretarlos. Por ello, la integración requiere una función intermedia de procesamiento que determine qué se observó, dónde se encuentra, qué confianza merece y qué relevancia tiene para la operación, evitando trasladar al usuario una cantidad de datos que todavía necesita interpretar.
SC05. Georreferenciación y mapeo	**Entrevista**	Los especialistas consideran necesario asociar la información obtenida con coordenadas y representaciones cartográficas comunes, diferenciando sectores, indicios y elementos confirmados para facilitar su utilización por Ingeniería y por quienes participan en el planeamiento.

Subcategorías	Técnicas	Triangulación integral de técnicas cualitativas
	Observación	Las imágenes obtenidas mediante UAS pudieron relacionarse con sectores del terreno, pero no se registró la generación de un producto georreferenciado específicamente orientado a representar amenazas o sectores para la apertura de una brecha.
	Indagación documental	Las fuentes analizadas muestran las posibilidades de los sistemas no tripulados para obtener información espacial y generar representaciones del terreno que pueden utilizarse durante el reconocimiento y planeamiento.
	Síntesis integrativa	La georreferenciación constituye el **vínculo espacial entre aquello que observa el UAS y aquello sobre lo que posteriormente debe actuar Ingeniería**. Una imagen aislada presenta menor utilidad si el usuario no puede ubicar con precisión el punto o sector representado. Por ello, la integración requiere productos sobre una referencia común que permitan relacionar indicios, obstáculos, accesos y posibles sectores de intervención, manteniendo claramente diferenciado aquello que ha sido confirmado de aquello que todavía requiere verificación.
SC06. Reconocimiento del obstáculo	**Entrevista**	Los especialistas señalan que antes de intervenir resulta necesario conocer la ubicación y extensión del obstáculo, características del terreno, accesos, amenazas, posibles sectores de intervención y aquellos aspectos sobre los cuales todavía existe incertidumbre.
	Observación	Las actividades de Ingeniería evidenciaron la necesidad de reconocer el terreno y los obstáculos antes de ejecutar acciones relacionadas con la movilidad. No se observó el empleo integrado de UAS durante estas actividades.
	Indagación documental	La doctrina de Ingeniería relaciona el reconocimiento con la obtención de información sobre terreno y obstáculos necesaria para preparar las operaciones y orientar posteriormente las acciones destinadas a mantener la movilidad.
	Síntesis integrativa	Las necesidades de reconocimiento de Ingeniería ofrecen un **punto concreto de entrada para la capacidad UAS**. No se trata de obtener toda la información que técnicamente pueda producir la plataforma, sino aquella que permita caracterizar el obstáculo, reconocer accesos y sectores de interés y reducir incertidumbres antes de la intervención. La separación encontrada durante la observación muestra que la integración requiere transformar esas necesidades de Ingeniería en requerimientos específicos para la misión UAS.
SC07. Reducción del obstáculo y apertura de la brecha	**Entrevista**	Los participantes consideran que la información obtenida previamente puede orientar la selección del sector, los medios necesarios y la preparación de la intervención. También precisan que el UAS no sustituye al personal ni a los medios encargados de reducir físicamente el obstáculo.
	Observación	Se registraron actividades de Ingeniería relacionadas con el reconocimiento y la superación de obstáculos, pero no una apertura de brecha apoyada directamente por UAS ni la participación integrada de estos sistemas durante los procedimientos observados.
	Indagación documental	La doctrina analizada relaciona la reducción del obstáculo con acciones y medios específicos de Ingeniería destinados a generar un paso que permita recuperar la movilidad de la fuerza.

Subcategorías	Técnicas	Triangulación integral de técnicas cualitativas
	Síntesis integrativa	El UAS encuentra su posible función en el brechado **antes y durante la intervención como medio de información, no como sustituto de los medios de reducción**. Puede contribuir a orientar dónde concentrar el reconocimiento, actualizar determinadas condiciones y proporcionar información al elemento encargado de actuar sobre el obstáculo. Esta delimitación evita atribuir al sistema una función que no fue observada ni sustentada y permite ubicarlo dentro de la operación como apoyo al conocimiento de la situación.
SC08. Seguridad y protección de la fuerza	**Entrevista**	Los especialistas relacionan el UAS con la posibilidad de reducir determinadas exposiciones durante el reconocimiento inicial, pero advierten que los procedimientos de seguridad deben mantenerse y que la ausencia de una detección no permite considerar seguro un sector.
	Observación	Las actividades de Ingeniería evidenciaron exposición del personal durante el reconocimiento y la necesidad de medidas de seguridad. En las actividades UAS se observó la posibilidad de obtener información del terreno a distancia, aunque no su integración directa con los procedimientos de brechado.
	Indagación documental	Las fuentes doctrinarias y teóricas permiten reconocer que la protección requiere procedimientos, coordinación y gestión de riesgos. La incorporación de tecnología puede disminuir determinadas exposiciones, pero también presenta limitaciones y posibles fallas que necesitan ser consideradas.
	Síntesis integrativa	El aporte del UAS a la protección debe entenderse como **reducción de exposición y no como eliminación del riesgo**. Su empleo puede desplazar parte del reconocimiento inicial desde el personal hacia un medio remoto, pero la intervención sobre el obstáculo continúa exigiendo procedimientos de seguridad. Además, una interpretación excesivamente confiada de los sensores podría introducir un nuevo riesgo. Por ello, la seguridad depende tanto de obtener información como de reconocer explícitamente sus límites.
SC09. Movilidad	**Entrevista**	Los participantes señalan que la apertura de una brecha busca recuperar el movimiento de la fuerza y evitar que el obstáculo produzca una detención prolongada. El UAS puede contribuir proporcionando información anticipada, pero no genera movilidad directamente.
	Observación	Las actividades de Ingeniería mostraron la relación entre reconocimiento, superación de obstáculos y movimiento. El empleo observado de UAS estuvo orientado a la obtención de información y no produjo directamente la recuperación de la movilidad.
	Indagación documental	La doctrina de Ingeniería relaciona la superación de obstáculos con el mantenimiento de la libertad de movimiento y con las acciones necesarias para que la fuerza continúe su desplazamiento.
	Síntesis integrativa	La relación entre UAS y movilidad es **indirecta pero operacionalmente relevante**. El sistema no abre por sí mismo el paso, pero una información obtenida con mayor anticipación puede favorecer la preparación de la intervención y disminuir parte del tiempo empleado en comprender el obstáculo una vez que la fuerza se encuentra frente a él. Su aporte debe evaluarse, por tanto, por la capacidad de apoyar decisiones y acciones que permitan recuperar la movilidad, no por atribuirle una función física de brechado.

Subcategorías	Técnicas	Triangulación integral de técnicas cualitativas
SC10. Apoyo a la maniobra	**Entrevista**	Los especialistas relacionan la brecha con la continuidad de la maniobra y destacan que el sector y oportunidad de la intervención deben responder a la dirección de movimiento y a las necesidades de la operación.
	Observación	Las actividades de planeamiento mostraron que la información sobre terreno, obstáculos y movilidad influye sobre la preparación de las acciones de Ingeniería. No se observó una operación en la que UAS y brechado actuaran de manera integrada.
	Indagación documental	Las fuentes doctrinarias muestran que las actividades de Ingeniería destinadas a superar obstáculos se encuentran subordinadas a las necesidades de movimiento y maniobra de la fuerza.
	Síntesis integrativa	El valor de integrar UAS no debería medirse únicamente por la cantidad de información obtenida, sino por **su capacidad para contribuir a que la fuerza mantenga la continuidad de la maniobra**. Esto implica orientar el reconocimiento hacia aquellos obstáculos y sectores que realmente condicionan el movimiento, entregar la información con oportunidad y relacionarla con la intervención de Ingeniería. El UAS adquiere así sentido como parte de una necesidad operacional mayor y no como una capacidad empleada de manera independiente.
SC11. Tecnológicos	**Entrevista**	Los especialistas identifican requerimientos relacionados con autonomía, carga útil, sensores, navegación, enlace, condiciones ambientales y sostenimiento. Señalan que no existe una configuración única adecuada para todas las tareas.
	Observación	Los UAS registrados presentaron capacidades de reconocimiento visual, pero no sensores ni configuraciones específicamente destinadas a la detección de minas o al apoyo directo del brechado.
	Indagación documental	Los estudios tecnológicos revisados muestran que el desempeño depende de la relación entre plataforma, sensores, objetivo y condiciones de empleo, por lo que las prestaciones deben valorarse según la misión prevista.
	Síntesis integrativa	El requerimiento tecnológico no consiste en identificar **el UAS con mayores prestaciones**, sino en determinar una configuración capaz de responder a las necesidades del brechado. La diferencia entre las capacidades observadas y las posibilidades descritas por especialistas y documentos muestra que una integración específica requeriría adecuar plataforma, sensores, autonomía, navegación y enlace a la misión. Además, la capacidad debe poder sostenerse y emplearse de manera recurrente; una solución técnicamente avanzada pero difícil de mantener tendría una utilidad operacional limitada.
SC12. De la tarea	**Entrevista**	Los participantes sostienen que primero debe definirse qué necesita realizar Ingeniería y qué información requiere, para posteriormente seleccionar la plataforma y los sensores capaces de responder a esas necesidades.
	Observación	Las tareas de Ingeniería mostraron necesidades de información diferentes según se tratara de reconocimiento, preparación de la intervención o apoyo a la movilidad. Los UAS observados fueron empleados para reconocimiento general y no específicamente configurados para esas necesidades.

Subcategorías	Técnicas	Triangulación integral de técnicas cualitativas
	Indagación documental	La teoría del ajuste tarea-tecnología proporciona una base para interpretar que una tecnología resulta útil cuando sus capacidades corresponden con las exigencias de las tareas que debe apoyar.
	Síntesis integrativa	Esta subcategoría establece el **orden lógico de la integración: tarea → necesidad de información → capacidad requerida → tecnología**. Los datos muestran que comenzar por la plataforma disponible puede conducir a utilizar el UAS sin que su producto responda realmente al brechado. Por ello, la misión de Ingeniería debe definir primero qué necesita conocer y con qué oportunidad; recién a partir de ello corresponde determinar qué sensor, plataforma y modalidad de empleo pueden proporcionar esa información.
SC13. Información y comunicaciones	**Entrevista**	Los especialistas consideran necesario que la información sea oportuna, confiable, priorizada y presentada en formatos que puedan ser utilizados por los diferentes participantes. También destacan la importancia de enlaces y procedimientos para su transmisión.
	Observación	Se obtuvo información mediante UAS y se identificaron necesidades de información durante las actividades de Ingeniería, pero no se registró un flujo establecido que conectara específicamente al operador UAS con el elemento encargado del brechado.
	Indagación documental	Las fuentes teóricas muestran que la información adquiere utilidad cuando puede ser comprendida y compartida dentro del sistema en el que se utiliza. La perspectiva sociotécnica permite relacionar los medios tecnológicos con usuarios, procedimientos y procesos de información.
	Síntesis integrativa	La principal brecha identificada no se encuentra solamente en **obtener información**, sino en conseguir que esta llegue al usuario que debe actuar sobre ella. La observación mostró capacidades y necesidades presentes de manera separada. Por ello, la integración requiere establecer un flujo que parta del requerimiento de Ingeniería, oriente la obtención y procesamiento mediante UAS y termine con un producto oportuno y comprensible para el usuario. El enlace técnico es necesario, pero resulta insuficiente si no existe un procedimiento que conecte esos momentos.
SC14. Personal	**Entrevista**	Los participantes identifican funciones complementarias entre operadores UAS, responsables de sensores o procesamiento y especialistas de Ingeniería. También destacan la necesidad de entrenamiento conjunto y conocimiento de las posibilidades y limitaciones de cada especialidad.
	Observación	Se registró personal vinculado con la operación de UAS y, por separado, especialistas de Ingeniería encargados de tareas relacionadas con obstáculos y movilidad. No se observó un equipo integrado específicamente para apoyar una apertura de brecha.
	Indagación documental	La perspectiva sociotécnica permite interpretar que el desempeño de una capacidad tecnológica depende también de las personas que la utilizan, sus competencias y la relación entre sus diferentes funciones.
	Síntesis integrativa	La integración requiere **competencias complementarias y no la concentración de todas las funciones en una sola persona**. El operador conoce el sistema, el especialista en sensores interpreta determinados productos y el personal de Ingeniería conoce qué información necesita para actuar sobre el obstáculo. La separación observada entre estas especialidades muestra la necesidad de entrenamiento conjunto para

Subcategorías	Técnicas	Triangulación integral de técnicas cualitativas
		desarrollar un lenguaje común, formular requerimientos adecuados y comprender los límites de la información producida.
SC15. Organizacionales	**Entrevista**	Los especialistas señalan la necesidad de definir responsabilidades, prioridades, procedimientos y relaciones entre el elemento UAS, Ingeniería y los responsables del planeamiento y conducción de la operación.
	Observación	Las actividades UAS y de Ingeniería se desarrollaron separadamente. No se registró una estructura específica que permitiera solicitar una misión UAS para el brechado, establecer prioridades, procesar la información y entregarla posteriormente al elemento encargado de utilizarla.
	Indagación documental	La perspectiva sociotécnica permite analizar la incorporación de tecnología considerando también las estructuras, procesos y relaciones organizacionales mediante las cuales se integra al trabajo existente.
	Síntesis integrativa	La disponibilidad de un UAS y de personal de Ingeniería **no constituye por sí misma una capacidad integrada**. El principal requerimiento organizacional consiste en conectar capacidades que actualmente pueden existir por separado mediante responsabilidades, procedimientos y flujos de información previamente definidos. La integración debería comenzar desde el planeamiento, estableciendo quién formula el requerimiento, quién prioriza la misión, quién obtiene y procesa los datos y quién recibe el producto. Esta articulación organizacional permite que los requerimientos tecnológicos, de la tarea, de información y de personal funcionen como un solo sistema orientado al brechado.

***Nota*.** La tabla presenta el contraste de la información obtenida mediante las entrevistas semiestructuradas, la observación y el análisis documental.

CAPÍTULO V: DIÁLOGO TEÓRICO-EMPÍRICO

5.1 Diálogo teórico-empírico

El diálogo teórico-empírico se desarrolló a partir de los hallazgos identificados durante la triangulación de las entrevistas, la observación y el análisis documental. Estos resultados fueron contrastados con las bases teóricas, doctrinarias y académicas consideradas en la investigación, buscando comprender con mayor profundidad las relaciones encontradas entre las capacidades de los UAS, las necesidades de las operaciones de apertura de brechas y las condiciones requeridas para integrar ambas capacidades.

Los hallazgos fueron organizados considerando las relaciones encontradas entre las quince subcategorías. Algunas mostraron una vinculación directa y fueron analizadas de manera conjunta, debido a que explicaban diferentes partes de un mismo aspecto del fenómeno estudiado. Este tratamiento permitió profundizar en los resultados sin volver a describir los testimonios, las observaciones o los documentos presentados en el capítulo anterior.

También se mantuvo una diferencia entre las capacidades identificadas en los UAS y aquellas que pudieron observarse durante el trabajo de campo. Las actividades observadas mostraron UAS empleados principalmente para reconocimiento y obtención de información del terreno, mientras que las actividades de Ingeniería estuvieron relacionadas con el reconocimiento de obstáculos, movilidad, planeamiento y procedimientos para su superación. No se observó una operación integrada de UAS y apertura de brechas en campos minados, situación que permitió analizar las condiciones que tendrían que relacionarse para su posible empleo conjunto.

5.2 Categoría: Capacidades de las aeronaves no tripuladas

5.2.1 Hallazgo 1: El UAS amplía el reconocimiento y la obtención de información, pero no reemplaza el reconocimiento especializado de Ingeniería

Una de las capacidades identificadas con mayor claridad fue la posibilidad de ampliar la observación del terreno y mantener vigilancia sobre determinados sectores sin aproximar inicialmente al personal. Mediante el UAS se puede obtener información sobre accesos, características visibles del terreno, obstáculos y otros elementos que pueden resultar de interés para Ingeniería. Esta posibilidad presenta, al mismo tiempo, un límite que debe mantenerse presente: observar un sector desde el aire no significa haber reconocido completamente un campo minado. Durante el trabajo de campo se registró el empleo de UAS para reconocimiento general, pero no su utilización integrada durante una apertura de brecha ni la identificación de amenazas enterradas.

El ATP 3-34.81 del Department of the Army (2016) permite relacionar este resultado con el reconocimiento de Ingeniería, cuya finalidad se encuentra orientada a obtener información específica sobre el terreno y los obstáculos para apoyar el planeamiento y las operaciones. Esta relación ayuda a comprender que el valor del reconocimiento no depende solamente de observar una mayor extensión del terreno, sino de obtener información relacionada con aquello que necesita conocer el elemento de Ingeniería. Endsley y Garland (2000) permiten ampliar esta interpretación desde la conciencia situacional, donde la disponibilidad de datos constituye una parte del conocimiento de la situación, pero no representa por sí misma una comprensión completa de aquello que ocurre en el entorno.

La capacidad de observación del UAS puede complementar el reconocimiento de Ingeniería cuando responde a necesidades previamente establecidas. Información sobre accesos, sectores de interés, características visibles del terreno o cambios producidos en el área puede obtenerse antes de aproximar determinados elementos al obstáculo. Aquellos aspectos que el sistema no puede reconocer o confirmar continúan requiriendo otros medios y procedimientos. De esta manera, la información aérea se incorpora como una fuente

adicional dentro del reconocimiento y no como reemplazo de las capacidades especializadas necesarias para caracterizar el obstáculo.

5.2.2 Hallazgo 2: La utilidad de los sensores depende de las condiciones de empleo y de transformar los datos obtenidos en información confiable y espacialmente ubicada

Los sensores, la detección de amenazas, el procesamiento de información y la georreferenciación mostraron una relación estrecha durante el análisis. La capacidad de un UAS para obtener información sobre posibles amenazas no depende únicamente de la aeronave o del sensor instalado. Las características de la amenaza, las condiciones del terreno y la tarea que se pretende apoyar también intervienen en aquello que el sistema puede detectar. Los especialistas diferenciaron, además, la presencia de una anomalía o indicio de la identificación confirmada de una mina. Esta diferencia resulta importante porque la ausencia de una señal tampoco permite asumir que un sector se encuentre libre de amenazas.

Endsley y Garland (2000) permiten interpretar esta relación al diferenciar la disponibilidad de datos de la comprensión de una situación. Una imagen, una señal o una anomalía necesita ser interpretada antes de convertirse en información útil para quien debe adoptar una decisión. La georreferenciación complementa este proceso al relacionar aquello que fue observado con un punto o sector concreto del terreno. El procesamiento y la ubicación espacial adquieren así una relación directa con la detección, debido a que permiten pasar de un dato obtenido por el sensor a una información que puede ser comprendida y utilizada.

Para Ingeniería resulta más útil recibir un producto que indique qué fue observado, dónde se encuentra y qué nivel de confianza presenta, antes que disponer solamente de imágenes o señales sin interpretar. Esta necesidad cobra mayor importancia frente a amenazas enterradas, donde presentar un indicio como una mina confirmada podría generar una apreciación equivocada del sector. La información proporcionada por el UAS necesita conservar esa diferencia entre observación, indicio e identificación confirmada, haciendo visibles también las limitaciones que acompañan al sensor y a las condiciones en las que fue empleado.

5.3 Categoría: Operaciones de apertura de brechas en campos minados

5.3.1 Hallazgo 3: Las necesidades del brechado deben orientar la información que se requiere del UAS

El reconocimiento del obstáculo mostró necesidades concretas de información relacionadas con el terreno, los accesos, las características del obstáculo, las amenazas, los posibles sectores de intervención y aquellos aspectos sobre los cuales todavía existe incertidumbre. Esta información se encuentra relacionada con las acciones que posteriormente debe realizar Ingeniería para preparar y ejecutar la reducción del obstáculo. La posible participación del UAS adquiere sentido dentro de esa necesidad, debido a que parte de la información requerida podría obtenerse mediante reconocimiento y observación aérea.

El ATP 3-34.81 del Department of the Army (2016) relaciona el reconocimiento de Ingeniería con la obtención de información necesaria para apoyar el planeamiento y las operaciones. El FM 3-34 del Department of the Army (2025) también permite vincular el conocimiento del terreno y de los obstáculos con las actividades de Ingeniería orientadas a mantener la movilidad. Estos planteamientos guardan relación con lo encontrado en la investigación, donde el reconocimiento apareció vinculado con las necesidades posteriores de intervención y no como una actividad independiente.

Esta relación permite plantear el empleo del UAS desde la necesidad de Ingeniería y no desde las capacidades disponibles en la plataforma. El elemento encargado del brechado necesita establecer primero qué requiere conocer sobre el terreno y el obstáculo. A partir de esa necesidad puede determinarse qué información puede proporcionar el UAS y qué aspectos continúan requiriendo otros medios de reconocimiento. La misma diferenciación se mantiene durante la reducción del obstáculo. El UAS puede proporcionar información que apoye la preparación o actualización de la situación, mientras que la intervención física sobre el obstáculo continúa correspondiendo al personal, medios y procedimientos destinados a generar la brecha.

5.3.2 Hallazgo 4: El aporte del UAS a la protección, movilidad y maniobra depende principalmente de la oportunidad y confiabilidad de la información

La posibilidad de obtener información a distancia mostró una relación con la protección del personal, principalmente durante las actividades iniciales de reconocimiento. Observar determinados sectores sin aproximar inmediatamente al personal puede reducir parte de la exposición, aunque esta ventaja no elimina los riesgos propios de intervenir sobre un campo minado. Los elementos de Ingeniería continúan necesitando aproximarse y actuar sobre el obstáculo, manteniéndose la necesidad de aplicar los procedimientos de seguridad correspondientes.

Perrow (1999) permite examinar este resultado desde los riesgos presentes en sistemas complejos y las limitaciones que pueden acompañar al empleo de la tecnología. Esta perspectiva resulta pertinente cuando se considera la confianza depositada en los sensores. Si la ausencia de una detección se interpreta como ausencia de amenaza, una herramienta destinada a proporcionar mayor información puede terminar generando una apreciación equivocada de seguridad. El aporte tecnológico necesita considerar, junto con la información proporcionada, aquello que el sistema no pudo determinar.

La relación con la movilidad se presenta de manera indirecta. El FM 3-34 del Department of the Army (2025) vincula la superación de obstáculos con el mantenimiento del movimiento de la fuerza y el apoyo a la maniobra. El UAS no abre físicamente la brecha ni recupera por sí mismo la movilidad, pero la información obtenida antes de comprometer al personal y los medios puede apoyar la preparación de la intervención. Su utilidad depende entonces de que la información llegue con suficiente anticipación para ser incorporada al reconocimiento, al planeamiento y a las acciones de Ingeniería relacionadas con la superación del obstáculo.

La oportunidad también relaciona esta información con la continuidad de la maniobra. Un producto que llega después de que la fuerza ya se encuentra comprometida frente al obstáculo pierde parte de su utilidad, aun cuando técnicamente sea preciso. La información

necesita responder al momento en que debe adoptarse una decisión o prepararse una acción, manteniendo claramente expresado el grado de confianza que puede atribuirse a ella.

5.4 Categoría: Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas

5.4.1 Hallazgo 5: La tarea debe determinar las capacidades tecnológicas requeridas para el empleo del UAS

Las características tecnológicas requeridas para un UAS mostraron una relación directa con las tareas que se pretende apoyar. Autonomía, carga útil, sensores, navegación, enlace y otras prestaciones adquieren importancia de acuerdo con la información que Ingeniería necesita obtener y las condiciones en las que deberá hacerlo. Un sistema empleado para reconocimiento visual general puede responder adecuadamente a esa finalidad y, al mismo tiempo, resultar insuficiente para una tarea que demande otro tipo de información.

Goodhue y Thompson (1995), mediante la teoría del ajuste tarea-tecnología, plantean que la utilidad de una tecnología depende del grado en que sus capacidades responden a las exigencias de la tarea. Esta relación estuvo presente en los resultados obtenidos. Las actividades de Ingeniería mostraron necesidades específicas vinculadas con el reconocimiento del obstáculo y la movilidad, mientras que los UAS observados estuvieron orientados principalmente a la obtención general de información del terreno. La diferencia entre ambas capacidades permite identificar la necesidad de establecer un ajuste antes de plantear su empleo integrado.

La tarea de Ingeniería constituye así el punto de referencia para determinar las capacidades tecnológicas requeridas. Primero necesita establecerse qué actividad debe apoyarse y qué información requiere; luego pueden definirse las capacidades necesarias para obtenerla y seleccionar la plataforma, sensores, autonomía, navegación o enlace que respondan a esas condiciones. Esta secuencia mantiene la tecnología al servicio de la necesidad operacional y evita modificar la tarea solamente para ajustarla a las prestaciones del sistema disponible.

Las condiciones del entorno también forman parte de esta relación. Una configuración puede responder adecuadamente a una tarea bajo determinadas características del terreno y presentar limitaciones cuando estas cambian. La selección tecnológica necesita considerar, además de sus prestaciones, las condiciones reales de empleo y la posibilidad de mantener esa capacidad disponible durante la operación.

5.4.2 Hallazgo 6: La integración de UAS e Ingeniería requiere relacionar información, personal y organización dentro de un mismo proceso

Las necesidades de información y comunicaciones, personal y organización aparecieron relacionadas durante la triangulación. En las actividades observadas se identificaron capacidades UAS para obtener información del terreno y, por separado, actividades de Ingeniería que requerían información sobre obstáculos y movilidad. No se registró un procedimiento específico que conectara ambas capacidades durante una apertura de brecha. Esta separación permitió reconocer que la disponibilidad simultánea de tecnología y personal especializado no genera automáticamente una capacidad integrada.

La perspectiva sociotécnica desarrollada a partir de Trist y Bamforth (1951) y considerada en la investigación mediante Abbas y Michael (2025) permite interpretar esta relación considerando conjuntamente tecnología, personas, tareas y organización. El operador UAS conoce las posibilidades y limitaciones de la plataforma, mientras que el especialista de Ingeniería comprende las necesidades del reconocimiento, el obstáculo y el brechado. Ambos conocimientos cumplen funciones diferentes y necesitan relacionarse para que la información obtenida responda a aquello que requiere la operación.

El flujo de información constituye una parte de esa relación. La necesidad surge en el elemento de Ingeniería, donde se determina aquello que se requiere conocer. Esa necesidad debe convertirse en un requerimiento para el elemento UAS, orientar la obtención de datos y continuar mediante su procesamiento e interpretación. El producto necesita regresar al usuario con una ubicación comprensible, un nivel de confianza conocido y dentro del tiempo en que todavía puede ser utilizado. El enlace técnico permite transmitir datos, pero la

integración requiere también que exista continuidad entre quien solicita la información, quien la obtiene, quien la procesa y quien la utiliza.

El personal cumple una función similar dentro de este proceso. Los resultados mostraron especialistas UAS y personal de Ingeniería desarrollando actividades diferenciadas. La relación entre ambos requiere competencias complementarias y un conocimiento suficiente de las funciones de la otra especialidad. El personal de Ingeniería necesita conocer qué información puede obtenerse mediante el sistema y cuáles son sus limitaciones, mientras que el personal UAS necesita comprender qué producto resulta útil para el reconocimiento y la apertura de la brecha. El entrenamiento conjunto permite desarrollar esta relación sin trasladar todas las funciones a una sola especialidad.

La dimensión organizacional conecta estas actividades mediante responsabilidades y procedimientos. Formular el requerimiento, establecer prioridades, ejecutar la misión UAS, procesar los datos y entregar el producto son acciones que necesitan responsables identificados. Cuando estas funciones permanecen separadas, la información puede obtenerse sin llegar a convertirse en un apoyo efectivo para Ingeniería. Su articulación desde el planeamiento permite relacionar la capacidad tecnológica con la necesidad que originó su empleo.

La integración de UAS en el brechado se presenta de esta manera como una relación entre la tarea que necesita ser apoyada, la tecnología capaz de obtener determinada información, el proceso mediante el cual esa información llega al usuario y las personas y responsabilidades que permiten utilizarla. La aeronave constituye uno de los componentes de esa relación, mientras que su empleo dentro de la operación depende de que los demás elementos funcionen de manera articulada.

CONCLUSIONES

En relación con el objetivo general, orientado a proponer la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones, se comprendió que esta integración no depende únicamente de incorporar un UAS a las actividades de Ingeniería. Las capacidades de reconocimiento, vigilancia, obtención de información, procesamiento y georreferenciación pueden apoyar el conocimiento previo y la actualización de la situación del terreno y del obstáculo, pero adquieren utilidad cuando responden a necesidades concretas del brechado. La integración requiere partir de la tarea que debe cumplir Ingeniería, determinar qué información necesita y, a partir de ello, establecer las capacidades tecnológicas, los sensores, el procesamiento, las comunicaciones, el personal y la organización necesarios para proporcionar esa información. El UAS cumple así una función de apoyo al reconocimiento y al conocimiento de la situación, mientras que la reducción física del obstáculo continúa correspondiendo a los medios y procedimientos propios de Ingeniería. Esta relación permitió establecer una integración basada en la correspondencia entre tarea, tecnología, información, personal y organización, orientada a apoyar la apertura de la brecha y la continuidad de la maniobra.

Respecto al primer objetivo específico, relacionado con las capacidades de las aeronaves no tripuladas aplicables a las operaciones de apertura de brechas, se identificó que su aporte se concentra principalmente en ampliar el reconocimiento y vigilancia, obtener información del terreno y de sectores de interés, apoyar la detección de indicios mediante sensores y representar espacialmente la información obtenida. Sin embargo, estas capacidades presentan límites que deben mantenerse visibles durante su empleo. La detección depende del sensor utilizado, las características de la amenaza, el terreno y las condiciones de la tarea, por lo que una anomalía no puede asumirse directamente como una mina confirmada ni la ausencia de una señal permite considerar seguro un sector. La

información obtenida necesita ser procesada, interpretada y georreferenciada antes de ser utilizada por Ingeniería, indicando con claridad aquello que fue observado y el nivel de confianza que puede atribuirse al producto. De esta manera, el valor del UAS no se encuentra solamente en obtener una mayor cantidad de datos, sino en proporcionar información útil y espacialmente ubicada que complemente el reconocimiento especializado del obstáculo.

En cuanto al segundo objetivo específico, referido a las operaciones de apertura de brechas en campos minados, se comprendió que el reconocimiento del obstáculo constituye el punto donde las capacidades del UAS pueden relacionarse con mayor claridad con las necesidades de Ingeniería. Antes de intervenir se requiere información sobre el terreno, los accesos, las características y extensión del obstáculo, las amenazas, los posibles sectores de intervención y aquellos aspectos que todavía presentan incertidumbre. Parte de esta información puede ser obtenida o complementada mediante UAS, disminuyendo determinadas exposiciones iniciales y proporcionando elementos para preparar la intervención. Esta contribución no significa que el UAS realice la reducción del obstáculo ni que elimine los riesgos propios del brechado. Su relación con la seguridad, la movilidad y el apoyo a la maniobra se produce principalmente mediante información obtenida con suficiente anticipación para orientar el reconocimiento, preparar las acciones de Ingeniería y mantener actualizado el conocimiento del sector donde se desarrolla la operación.

Respecto al tercer objetivo específico, orientado a determinar los requerimientos para el empleo de UAS en las operaciones de apertura de brechas, se identificó que estos comprenden aspectos tecnológicos, de la tarea, de información y comunicaciones, de personal y organizacionales que necesitan funcionar de manera relacionada. Las características de la plataforma, autonomía, sensores, navegación y enlace deben definirse según la tarea que se pretende apoyar y la información que Ingeniería necesita obtener, evitando seleccionar primero la tecnología y adaptar posteriormente la operación a sus prestaciones. La información requiere un flujo que conecte la necesidad de Ingeniería con la misión asignada al UAS, la obtención y procesamiento de los datos y la entrega de un producto comprensible y oportuno al usuario. Esta relación también requiere personal con

competencias complementarias, particularmente entre operadores UAS, responsables del procesamiento o interpretación de la información y especialistas de Ingeniería, además de entrenamiento conjunto que permita comprender las posibilidades y limitaciones de cada capacidad. En el ámbito organizacional, resulta necesario establecer responsabilidades para formular requerimientos, priorizar misiones, obtener y procesar información y distribuir los productos generados.

En relación con el objetivo específico orientado a formular la propuesta conceptual, se estableció que la integración puede estructurarse como un proceso que comienza con la necesidad operacional de Ingeniería y no con la disponibilidad del UAS. La tarea de brechado permite determinar qué información se requiere; esta necesidad orienta las capacidades tecnológicas y los sensores que deben emplearse; los datos obtenidos necesitan ser procesados, interpretados y georreferenciados; y el producto resultante debe llegar al elemento de Ingeniería con oportunidad y con un nivel de confianza conocido. Este proceso requiere responsabilidades definidas, comunicaciones, personal preparado y coordinación desde el planeamiento, de manera que las capacidades UAS y de Ingeniería no funcionen como elementos separados. La propuesta conceptual se orienta así a articular capacidades existentes y requerimientos identificados alrededor de una necesidad común de información, manteniendo al UAS como medio de apoyo al reconocimiento y a la toma de decisiones, sin atribuirle la ejecución física del brechado ni una capacidad de detección de minas que no fue comprobada experimentalmente en esta investigación.

.

RECOMENDACIONES

En relación con el objetivo general, se recomienda que el Ejército del Perú evalúe la integración progresiva de las capacidades UAS en la preparación y ejecución de las operaciones de apertura de brechas en campos minados, considerando estas plataformas como medios de apoyo para el reconocimiento, obtención y actualización de información del terreno y del obstáculo. Esta integración debería desarrollarse a partir de las necesidades de Ingeniería, definiendo primero las tareas que requieren apoyo y la información necesaria para posteriormente determinar las capacidades tecnológicas, sensores, procesamiento, comunicaciones, personal y organización que permitan atenderlas. Su implementación podría iniciarse mediante ejercicios de planeamiento y entrenamiento en los que participen de manera conjunta personal de Ingeniería y especialistas en UAS, incorporando situaciones relacionadas con reconocimiento de obstáculos y apertura de brechas. Estas actividades permitirían evaluar progresivamente la utilidad de la información obtenida, las limitaciones encontradas y la forma en que esta puede incorporarse al planeamiento y ejecución de las operaciones, sin reemplazar los procedimientos ni los medios propios de Ingeniería.

Respecto al primer objetivo específico, se recomienda evaluar las capacidades de reconocimiento, vigilancia, sensores, procesamiento y georreferenciación de los UAS en escenarios de entrenamiento relacionados con obstáculos y campos minados. Esta evaluación debería involucrar a personal especializado en UAS y a personal de Ingeniería, de manera que las capacidades tecnológicas sean valoradas de acuerdo con las necesidades reales del usuario que posteriormente empleará la información. Las actividades deberían considerar diferentes condiciones de terreno, tipos de información requerida y configuraciones de sensores, manteniendo una clara diferenciación entre una observación, un indicio y una amenaza confirmada. También resulta necesario registrar las limitaciones encontradas, debido a que la ausencia de una detección no debe ser interpretada como evidencia de que un sector se encuentra libre de minas. Los resultados obtenidos durante

estos ejercicios permitirían determinar qué capacidades pueden apoyar efectivamente el reconocimiento de Ingeniería y cuáles requieren otros medios o procedimientos para complementar la información.

En cuanto al segundo objetivo específico, se recomienda incorporar progresivamente el empleo de UAS en ejercicios de reconocimiento de obstáculos y apertura de brechas, orientando su participación hacia las necesidades de información que presenta Ingeniería antes y durante la intervención. El elemento encargado del brechado debería establecer previamente qué necesita conocer sobre el terreno, los accesos, el obstáculo, los sectores de interés y las posibles amenazas, permitiendo que la misión asignada al UAS responda a requerimientos concretos y no únicamente a la disponibilidad de la plataforma. Durante estos ejercicios debería mantenerse la diferencia entre el apoyo proporcionado por el UAS y las acciones destinadas a reducir físicamente el obstáculo, conservando los procedimientos de seguridad correspondientes. La evaluación de las actividades podría considerar la oportunidad, utilidad y confiabilidad de la información proporcionada, así como su aporte al reconocimiento, la preparación de la brecha, la protección del personal y la continuidad de la movilidad.

Respecto al tercer objetivo específico, se recomienda establecer requerimientos básicos para el empleo de UAS en apoyo a las operaciones de apertura de brechas, considerando de manera relacionada los aspectos tecnológicos, de la tarea, de información y comunicaciones, de personal y organizacionales identificados durante la investigación. La definición de estos requerimientos debería comenzar con la tarea que necesita desarrollar Ingeniería y continuar con la determinación de la información requerida, las capacidades necesarias para obtenerla y las características de la plataforma y los sensores que puedan responder a esas condiciones. También debería establecerse un flujo de información que permita formular el requerimiento, ejecutar la misión UAS, procesar e interpretar los datos y entregar al elemento de Ingeniería un producto georreferenciado, oportuno y con un nivel de confianza claramente expresado. Esta organización requiere la participación conjunta de operadores UAS, personal encargado del procesamiento de la información y especialistas de

Ingeniería, acompañada de actividades de entrenamiento que permitan conocer las posibilidades y limitaciones de cada capacidad.

En relación con el objetivo específico orientado a formular la propuesta conceptual, se recomienda que los órganos responsables de doctrina, instrucción y desarrollo de capacidades del Ejército del Perú evalúen la propuesta planteada en esta investigación mediante ejercicios de planeamiento, simulación y entrenamiento progresivo antes de considerar su incorporación a procedimientos institucionales. Estas actividades deberían reproducir la secuencia identificada durante el estudio: necesidad operacional de Ingeniería, determinación de la tarea, requerimiento de información, selección de la capacidad UAS, obtención de datos, procesamiento y georreferenciación, distribución del producto y empleo de la información por el elemento encargado del brechado. La evaluación debería considerar también las responsabilidades del personal, los procedimientos de coordinación y el flujo de información entre los elementos participantes. Los resultados obtenidos permitirían realizar ajustes a la propuesta, reconocer requerimientos adicionales y determinar las condiciones en las que su aplicación podría resultar viable, manteniendo claramente diferenciada la integración conceptual planteada en esta investigación de una validación técnica u operacional que todavía requiere ser desarrollada.

PROPUESTA PARA ENFRENTAR LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Integración de aeronaves no tripuladas en operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones

1.1 Presentación

Las operaciones de apertura de brechas en campos minados requieren que Ingeniería disponga de información suficiente sobre el terreno y el obstáculo antes de comprometer al personal y los medios encargados de su reducción. Conocer los accesos, las características visibles del sector, la ubicación de determinados elementos, las posibles amenazas y los cambios que se producen durante la operación permite preparar con mayores elementos las acciones necesarias para generar una brecha y contribuir a mantener la movilidad de la fuerza.

Las aeronaves no tripuladas ofrecen posibilidades para ampliar el reconocimiento y vigilancia, obtener información a distancia, emplear diferentes sensores y generar productos que pueden ser procesados y georreferenciados. Sin embargo, estas capacidades no adquieren utilidad únicamente por disponer de la plataforma. La investigación mostró que su posible empleo en operaciones de apertura de brechas depende de la relación que exista entre aquello que necesita conocer Ingeniería, la tarea que debe cumplirse, las características tecnológicas del sistema y la forma en que la información llega al personal que debe utilizarla.

También se identificó que las capacidades UAS y las actividades de Ingeniería pueden encontrarse disponibles dentro de una misma fuerza y continuar funcionando de manera separada. Durante las actividades observadas se reconocieron UAS empleados principalmente para reconocimiento general y, por otra parte, actividades de Ingeniería relacionadas con reconocimiento de obstáculos, movilidad, planeamiento y procedimientos para su superación. No se observó un empleo integrado de ambas capacidades durante una operación de apertura de brechas.

En atención a estos resultados, se formula una propuesta conceptual destinada a relacionar las capacidades de los UAS con las necesidades propias del brechado. La propuesta comprende cuatro componentes: definición de la necesidad de Ingeniería, adecuación de las capacidades UAS a la tarea, procesamiento y flujo de la información e integración del personal y la organización. Estos componentes mantienen una relación continua y permiten ordenar el empleo del sistema desde el requerimiento inicial hasta la utilización de la información por el elemento encargado de la operación.

La propuesta constituye una referencia para orientar posteriores actividades de planeamiento, simulación, instrucción y entrenamiento. Su contenido no reemplaza los procedimientos doctrinarios de reconocimiento, reducción de obstáculos o apertura de brechas, ni supone que las capacidades tecnológicas identificadas hayan sido validadas experimentalmente para la detección de minas.

1.2 Fundamentación de la propuesta

1.2.1 Sustento en los hallazgos de la investigación

La propuesta parte de los resultados obtenidos en las tres categorías de la investigación. En la categoría Capacidades de las aeronaves no tripuladas se identificó que los UAS pueden ampliar el reconocimiento y vigilancia y proporcionar información sobre el terreno y determinados sectores de interés sin aproximar inicialmente al personal. Esta posibilidad puede complementar el reconocimiento de Ingeniería, aunque no reemplaza los medios y procedimientos especializados necesarios para caracterizar un campo minado.

El análisis de los sensores y sistemas de detección mostró que su utilidad depende de las características de la amenaza, el terreno, la tarea y las condiciones en las que son empleados. También se reconoció la necesidad de diferenciar una observación o anomalía de una amenaza confirmada. La ausencia de una señal tampoco permite considerar que un sector se encuentra libre de minas. Estas condiciones requieren que los datos obtenidos sean interpretados, procesados y georreferenciados antes de ser utilizados durante la operación.

En la categoría Operaciones de apertura de brechas en campos minados se identificó que Ingeniería necesita información concreta para reconocer el obstáculo y preparar su

intervención. El terreno, los accesos, las características y extensión del obstáculo, los posibles sectores de intervención, las amenazas y los aspectos todavía desconocidos forman parte de esa necesidad. El UAS puede apoyar la obtención de determinada información, pero la reducción física del obstáculo continúa correspondiendo al personal, medios y procedimientos propios de Ingeniería.

La relación con la protección, movilidad y maniobra también se produce principalmente mediante la información. Obtener determinados datos antes de comprometer al personal puede disminuir parte de la exposición inicial y proporcionar mayores elementos para preparar la intervención. Esta posibilidad no elimina los riesgos propios del brechado ni modifica la necesidad de mantener los procedimientos de seguridad correspondientes.

En la categoría Requerimientos para el empleo de UAS se reconoció que la tarea debe orientar la selección de la tecnología. Las características de la plataforma, sensores, autonomía, navegación, carga útil y enlace necesitan responder a la información que Ingeniería requiere obtener y a las condiciones en las que deberá realizarse la misión.

Los requerimientos de información y comunicaciones, personal y organización mostraron también una relación directa. No basta con obtener datos si estos no son procesados y entregados oportunamente al usuario. De la misma manera, contar con operadores UAS y especialistas de Ingeniería no genera automáticamente una capacidad integrada. Se requiere establecer responsabilidades, procedimientos, entrenamiento y un flujo que permita relacionar a quienes solicitan, obtienen, procesan y utilizan la información.

Estos resultados permiten estructurar la propuesta siguiendo una secuencia que parte de la necesidad de Ingeniería y continúa con la definición de la tarea, el requerimiento de información, la determinación de las capacidades UAS, la obtención y procesamiento de los datos y la entrega del producto al usuario. El personal, las comunicaciones y la organización acompañan este proceso y permiten relacionar sus diferentes componentes.

1.2.2 Sustento teórico y doctrinario

La propuesta encuentra sustento en la teoría de la conciencia situacional desarrollada por Endsley y Garland (2000), que permite comprender que disponer de datos no representa por sí mismo una comprensión suficiente de aquello que ocurre en el entorno. La información necesita ser percibida, interpretada y relacionada con la situación para contribuir a una decisión. Este planteamiento resulta aplicable al empleo de UAS, debido a que las imágenes, señales o anomalías obtenidas mediante los sensores necesitan convertirse en información comprensible para el elemento de Ingeniería.

La teoría del ajuste tarea-tecnología de Goodhue y Thompson (1995) permite relacionar las necesidades de la tarea con las características que debe reunir la tecnología utilizada para apoyarla. Este enfoque sustenta que la selección del UAS y sus sensores no debería constituir el punto de partida de la integración. Primero necesita determinarse qué tarea debe realizar Ingeniería y qué información requiere; a partir de ello pueden establecerse las capacidades tecnológicas necesarias.

La perspectiva sociotécnica desarrollada a partir de Trist y Bamforth (1951) y considerada en la investigación mediante Abbas y Michael (2025) permite comprender que la tecnología no funciona de manera aislada. Su empleo se encuentra relacionado con las personas, las tareas, los procedimientos y la organización. Esta relación sustenta los componentes de personal y organización considerados en la propuesta.

Perrow (1999) permite considerar las limitaciones y riesgos que pueden acompañar el empleo de tecnologías dentro de sistemas complejos. En el caso estudiado, esta perspectiva adquiere importancia frente a la posibilidad de otorgar un nivel de confianza mayor al que realmente proporciona un sensor. La información generada por el UAS necesita expresar sus limitaciones y evitar que la ausencia de una detección sea interpretada automáticamente como ausencia de amenaza.

En el plano doctrinario, el ATP 3-34.81 del Department of the Army (2016) proporciona elementos para relacionar la obtención de información con las necesidades del reconocimiento de Ingeniería. El FM 3-34 del Department of the Army (2025) permite vincular

estas necesidades con las actividades de Ingeniería destinadas a superar obstáculos, mantener la movilidad y apoyar la maniobra. La propuesta mantiene esta relación y ubica al UAS como un medio complementario de obtención y actualización de información, sin trasladarle las funciones correspondientes a los medios encargados de reducir físicamente el obstáculo.

1.3 Finalidad

Contribuir a la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados, mediante una propuesta conceptual que permita relacionar las necesidades de Ingeniería con las capacidades tecnológicas, el procesamiento y flujo de información, el personal y la organización requeridos para apoyar el reconocimiento, la preparación del brechado y la continuidad de la maniobra.

1.4 Objetivo

Establecer una propuesta conceptual que articule las capacidades de las aeronaves no tripuladas con las necesidades de las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones, considerando los requerimientos tecnológicos, de la tarea, de información y comunicaciones, de personal y organizacionales identificados en la investigación.

1.5 Alcance de la propuesta

La propuesta está orientada al empleo de UAS como medio de apoyo a los elementos de Ingeniería que participan en el reconocimiento y preparación de operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones. Comprende la relación entre la necesidad de información de Ingeniería, las capacidades que puede proporcionar el UAS y las condiciones necesarias para que esa información llegue al usuario en forma útil y oportuna.

Su aplicación puede considerarse inicialmente en actividades de planeamiento, simulación, instrucción y entrenamiento donde participen personal de Ingeniería, operadores UAS y personal encargado del procesamiento y empleo de la información. Estos espacios

permitirían evaluar progresivamente la relación entre los componentes propuestos antes de considerar su incorporación a procedimientos institucionales.

La propuesta no establece un modelo específico de aeronave, sensor o sistema de comunicaciones. Estas características deben determinarse según la tarea, la amenaza, el terreno, la información requerida y las condiciones de empleo. Tampoco establece que un UAS pueda confirmar por sí solo la presencia o ausencia de minas, debido a que la investigación no realizó pruebas experimentales destinadas a validar técnicamente esa capacidad.

1.6 Desarrollo de la propuesta conceptual

La propuesta se estructura mediante cuatro componentes relacionados. El proceso comienza cuando Ingeniería identifica una necesidad vinculada con el reconocimiento o preparación del brechado. Esa necesidad permite determinar qué información se requiere y orienta las capacidades que debe proporcionar el UAS. Los datos obtenidos necesitan ser procesados, interpretados y georreferenciados antes de llegar al usuario, mientras que el personal, las comunicaciones y la organización permiten mantener la continuidad entre cada una de estas actividades.

1.6.1 Componente 1: Definición de la necesidad de Ingeniería

Este componente constituye el punto de partida de la propuesta. Antes de determinar qué UAS utilizar o qué sensor incorporar, el elemento de Ingeniería necesita establecer qué información requiere para apoyar el reconocimiento y preparar las acciones relacionadas con la apertura de la brecha.

La necesidad puede estar relacionada con características del terreno, accesos, obstáculos visibles, sectores de interés, posibles amenazas, cambios producidos en el área u otros aspectos que requieran ser conocidos antes o durante la intervención. La definición debe ser suficientemente concreta para orientar la misión UAS y evitar la obtención de información que, aun siendo técnicamente válida, no responda a aquello que necesita el elemento encargado del brechado.

Tabla 8

Actividades propuestas para la definición de la necesidad de Ingeniería

Actividad propuesta	Descripción	Producto esperado
Identificación de la tarea	Determinar la actividad de Ingeniería que requiere apoyo de información.	Tarea definida.
Determinación de la necesidad de información	Establecer qué necesita conocerse sobre el terreno, obstáculo o sector de interés.	Requerimiento de información.
Priorización de información	Diferenciar la información indispensable de aquella que puede complementar el reconocimiento.	Prioridades de obtención.
Determinación de oportunidad	Establecer cuándo necesita estar disponible la información para que pueda ser utilizada.	Requerimiento temporal.
Identificación de aspectos que requieren confirmación	Reconocer qué información obtenida mediante UAS deberá complementarse mediante otros medios o procedimientos.	Necesidades de verificación.

Producto esperado: Requerimiento de información de Ingeniería que precise qué se necesita conocer, dónde debe obtenerse y cuándo debe encontrarse disponible.

Nota. Las actividades propuestas permiten orientar el empleo del UAS a partir de las necesidades de la operación de apertura de brechas.

1.6.2 Componente 2: Adecuación de las capacidades UAS a la tarea

Una vez definida la necesidad de información, corresponde determinar qué capacidades tecnológicas pueden responder a ella. Este componente relaciona la tarea con las características de la plataforma, los sensores, la autonomía, la navegación, la carga útil, el enlace y las condiciones del entorno donde deberá operar el sistema.

La selección no busca establecer un UAS único para todas las situaciones. Las capacidades necesarias pueden cambiar de acuerdo con la información requerida, las características del terreno, la amenaza y el momento de la operación. Un sistema adecuado para reconocimiento visual puede necesitar una configuración diferente cuando la tarea requiere obtener otro tipo de información.

Tabla 9

Actividades propuestas para la adecuación de las capacidades UAS a la tarea

Actividad propuesta	Descripción	Producto esperado
Análisis de la tarea	Relacionar el requerimiento de información con las condiciones en las que deberá cumplirse la misión.	Necesidades de capacidad.
Selección de capacidades	Determinar autonomía, navegación, carga útil y otras prestaciones requeridas.	Perfil de capacidad UAS.
Determinación de sensores	Seleccionar los sensores de acuerdo con el tipo de información que se necesita obtener.	Configuración propuesta de sensores.
Evaluación de condiciones de empleo	Considerar terreno, ambiente, amenaza, enlace y otras condiciones que puedan limitar la misión.	Restricciones identificadas.
Identificación de limitaciones	Establecer qué puede proporcionar el sistema y qué aspectos no puede confirmar.	Límites de empleo conocidos.

Producto esperado: Configuración de capacidades UAS ajustada a la tarea y al requerimiento de información de Ingeniería.

Nota. La selección tecnológica parte de la tarea y de la información requerida, evitando asumir que una misma plataforma o sensor responde a todas las necesidades del brechado.

1.6.3 Componente 3: Obtención, procesamiento y flujo de la información

Este componente relaciona la obtención de los datos con su utilización por Ingeniería. Las imágenes, señales o anomalías captadas durante la misión necesitan ser procesadas, interpretadas y relacionadas con una ubicación concreta antes de constituir un producto útil para el usuario.

La información debe mantener una diferencia clara entre aquello que fue observado, aquello que representa un indicio y aquello que ha podido ser confirmado. También necesita expresar las limitaciones del sistema y el nivel de confianza que puede atribuirse al producto. Esta condición evita trasladar al usuario una certeza mayor que aquella que realmente permiten los datos obtenidos.

Tabla 10

Actividades para la obtención, procesamiento y flujo de información

Actividad propuesta	Descripción	Producto esperado
Planeamiento de la obtención	Traducir el requerimiento de Ingeniería en una misión específica para el elemento UAS.	Misión de obtención.
Obtención de datos	Ejecutar la misión empleando la plataforma y sensores seleccionados.	Datos obtenidos.

Procesamiento e interpretación	Organizar y analizar los datos, diferenciando observaciones, indicios y aspectos no confirmados.	Información interpretada.
Georreferenciación	Relacionar la información obtenida con puntos o sectores concretos del terreno.	Producto georreferenciado.
Determinación del nivel de confianza	Expresar las limitaciones y el grado de confianza atribuible a la información.	Información valorada.
Distribución al usuario	Entregar el producto al elemento de Ingeniería dentro del tiempo en que todavía puede ser utilizado.	Producto de información disponible para Ingeniería.

Producto esperado: Producto de información georreferenciado, interpretado y oportuno, que indique aquello que fue observado y el nivel de confianza correspondiente.

1.6.4 Componente 4: Integración del personal y la organización

La relación entre UAS e Ingeniería necesita personal con competencias complementarias y responsabilidades definidas. El operador UAS conoce las capacidades y limitaciones de la plataforma, mientras que el especialista de Ingeniería conoce las necesidades relacionadas con el terreno, los obstáculos y la apertura de la brecha. El personal encargado del procesamiento contribuye a transformar los datos obtenidos en información que pueda ser empleada durante la operación.

La integración requiere que estos participantes conozcan cómo se relacionan sus funciones. El entrenamiento conjunto permite que Ingeniería formule requerimientos compatibles con las capacidades del sistema y que el personal UAS comprenda qué producto necesita el usuario.

Tabla 11

Actividades propuestas para la integración del personal y la organización

Actividad propuesta	Descripción	Producto esperado
Definición de responsabilidades	Establecer quién formula, prioriza, obtiene, procesa, distribuye y utiliza la información.	Responsabilidades identificadas.
Entrenamiento conjunto	Desarrollar actividades donde participen personal UAS, procesamiento de información e Ingeniería.	Personal familiarizado con el proceso.
Establecimiento del flujo de coordinación	Definir cómo se relacionan los participantes desde el requerimiento hasta la utilización del producto.	Flujo de coordinación.

Integración durante el planeamiento	Incorporar las necesidades UAS dentro del planeamiento de las actividades de Ingeniería.	Requerimientos considerados desde el planeamiento.
Revisión posterior	Analizar dificultades relacionadas con información, tecnología, personal y coordinación.	Aspectos de mejora identificados.

Producto esperado: Procedimiento de coordinación que relacione al elemento de Ingeniería, el elemento UAS y el personal encargado del procesamiento y distribución de la información.

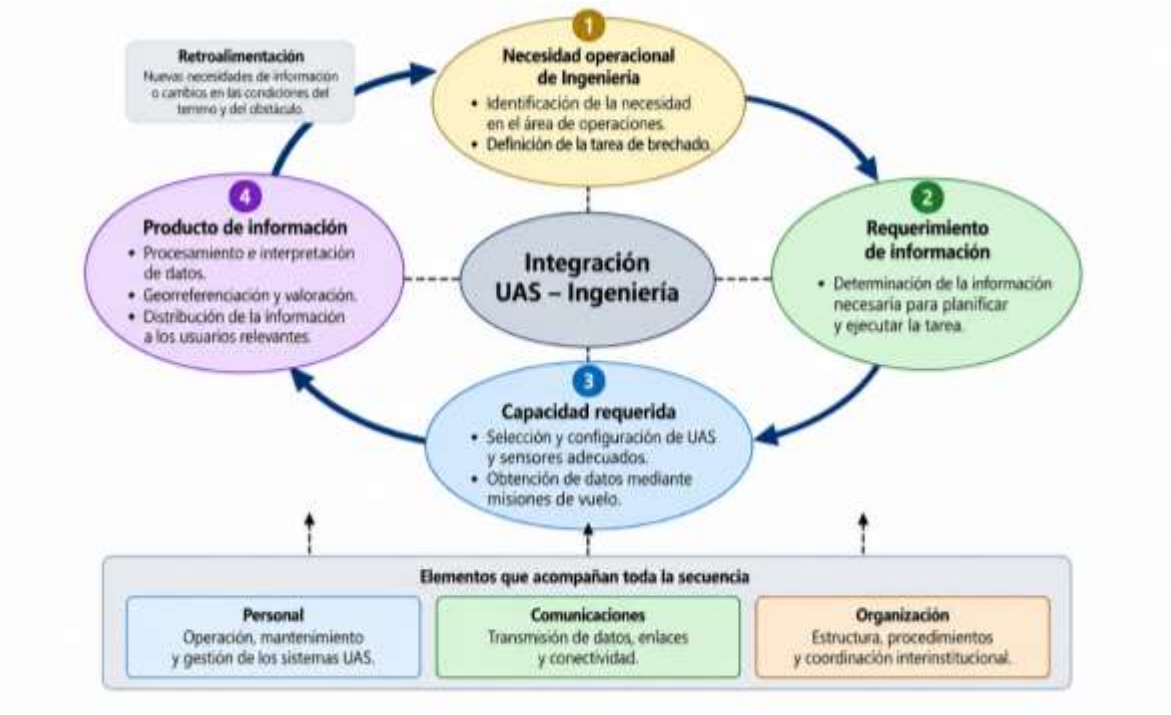
Nota. La integración no depende únicamente de disponer de la tecnología, sino de establecer cómo se relacionan las personas, funciones y responsabilidades que intervienen en su empleo.

1.7 Secuencia conceptual de integración

La relación entre los cuatro componentes puede representarse mediante una secuencia que comienza en Ingeniería y retorna al mismo elemento mediante un producto de información utilizable:

Figura 6

Secuencia conceptual de integración



El personal, las comunicaciones y la organización acompañan toda la secuencia. No constituyen una fase ubicada únicamente al término del proceso, debido a que intervienen desde la formulación inicial del requerimiento hasta la utilización de la información.

La secuencia también mantiene una retroalimentación. Cuando la información recibida resulta insuficiente, aparecen nuevas necesidades o cambian las condiciones del terreno y del obstáculo, Ingeniería puede reformular el requerimiento y orientar una nueva misión de obtención. Esta relación permite actualizar la información sin asumir que un único vuelo o producto proporciona todo el conocimiento necesario para desarrollar la operación.

1.8 Aplicación progresiva de la propuesta

La propuesta puede ser evaluada inicialmente mediante actividades de planeamiento, simulación y entrenamiento, evitando trasladarla directamente a procedimientos institucionales sin una valoración previa. Esta aplicación permitiría comprobar la relación entre los componentes y reconocer aquellos aspectos que necesitan ajustes antes de avanzar hacia escenarios de mayor complejidad.

Tabla 12

Aplicación progresiva de la propuesta conceptual

Etapa	Actividad principal	Aspecto por evaluar
1. Planeamiento	Aplicar la secuencia conceptual mediante situaciones de planeamiento de brechado.	Correspondencia entre tarea, necesidad de información y capacidad UAS.
2. Simulación	Representar el flujo desde el requerimiento hasta la entrega del producto.	Coordinación, responsabilidades y oportunidad de la información.
3. Entrenamiento controlado	Emplear UAS en actividades de reconocimiento relacionadas con obstáculos.	Obtención, procesamiento, georreferenciación y utilidad del producto.
4. Entrenamiento integrado	Relacionar elementos UAS e Ingeniería dentro de un mismo ejercicio.	Funcionamiento conjunto de tecnología, información, personal y organización.
5. Evaluación y ajuste	Revisar los resultados obtenidos durante las actividades desarrolladas.	Limitaciones, necesidades adicionales y ajustes a la propuesta.

Nota. La aplicación progresiva busca obtener evidencia sobre el funcionamiento de la propuesta antes de considerar su incorporación a procedimientos institucionales.

1.9 Responsabilidades propuestas

Las responsabilidades específicas deberán adecuarse a la organización vigente y a las disposiciones institucionales correspondientes. Para efectos de la propuesta conceptual se consideran funciones relacionadas con la necesidad de Ingeniería, la operación del UAS, el procesamiento de la información, la coordinación y la evaluación.

Tabla 13

Responsabilidades consideradas para la aplicación de la propuesta

Participante	Participación propuesta
Elemento de Ingeniería	Identificar la tarea, formular la necesidad de información y emplear el producto obtenido para apoyar el reconocimiento y preparación del brechado.
Elemento UAS	Planear y ejecutar la misión de obtención de acuerdo con el requerimiento recibido y las capacidades disponibles.
Personal de procesamiento de información	Procesar, interpretar, organizar y georreferenciar los datos obtenidos de acuerdo con las capacidades disponibles.
Elemento de planeamiento	Integrar los requerimientos UAS e Ingeniería dentro del planeamiento y coordinar prioridades.
Responsables de comunicaciones	Facilitar el flujo de información entre los elementos participantes mediante los medios disponibles.
Responsables de instrucción y entrenamiento	Incorporar progresivamente la propuesta en ejercicios y registrar los resultados obtenidos.

Nota. Las responsabilidades tienen carácter propositivo y deberán adecuarse a la organización, doctrina y atribuciones institucionales vigentes.

1.10 Recursos necesarios

La propuesta no implica necesariamente la creación inmediata de una nueva organización. Su evaluación inicial puede realizarse utilizando capacidades disponibles y determinando progresivamente los requerimientos adicionales que aparezcan durante los ejercicios.

Tabla 14

Recursos considerados para la evaluación de la propuesta

Tipo de recurso	Descripción	Finalidad
Humanos	Personal de Ingeniería, operadores UAS, personal de procesamiento, comunicaciones y planeamiento.	Desarrollar las funciones previstas dentro de la secuencia de integración.
Tecnológicos	Plataformas UAS, sensores disponibles, sistemas de procesamiento, navegación y georreferenciación.	Obtener y transformar los datos requeridos durante los ejercicios.
Comunicaciones	Medios disponibles para transmitir requerimientos, datos y productos de información.	Mantener el flujo entre los participantes.
Doctrinarios	Manuales y procedimientos relacionados con Ingeniería, reconocimiento, obstáculos, movilidad y empleo de UAS.	Orientar las actividades sin reemplazar los procedimientos institucionales vigentes.
Entrenamiento	Áreas, escenarios y actividades de simulación o ejercicios controlados.	Evaluar progresivamente la propuesta.

Organizacionales	Procedimientos de coordinación, asignación de responsabilidades y mecanismos de evaluación.	Articular las diferentes capacidades participantes.

Nota. Los recursos deberán determinarse de acuerdo con las capacidades disponibles y con el nivel de evaluación que se pretenda desarrollar.

1.11 Seguimiento y evaluación

El seguimiento de la propuesta debe orientarse a determinar si la relación entre sus componentes permite transformar una necesidad de Ingeniería en información útil para apoyar la operación. La evaluación no debería concentrarse solamente en el funcionamiento técnico del UAS, debido a que la integración también depende de la calidad del requerimiento, el procesamiento de los datos, la oportunidad del producto, la preparación del personal y la coordinación entre los elementos participantes.

Las actividades de planeamiento, simulación y entrenamiento pueden proporcionar información para ajustar progresivamente la propuesta. Las dificultades identificadas deberán relacionarse con el componente donde se presentan, permitiendo reconocer si corresponden a la definición de la tarea, la tecnología seleccionada, el procesamiento de la información, las comunicaciones, el personal o la organización.

1.11.1 Indicadores y medios de verificación

Tabla 15

Indicadores propuestos para la evaluación de la integración

Componente	Indicador propuesto	Medio de verificación
Necesidad de Ingeniería	El requerimiento identifica qué información se necesita, dónde y cuándo debe estar disponible.	Requerimiento de información y documentación del ejercicio.
Adecuación UAS-tarea	Las capacidades seleccionadas guardan relación con la tarea y las condiciones de empleo.	Planeamiento de la misión y ficha de evaluación.
Procesamiento y flujo de información	El producto llega interpretado, georreferenciado y dentro del tiempo requerido.	Productos generados y registros del ejercicio.
Nivel de confianza	La información diferencia observaciones, indicios, aspectos confirmados y limitaciones.	Producto de información y evaluación posterior.
Personal	Los participantes reconocen sus funciones y las posibilidades y limitaciones de las otras capacidades.	Fichas de evaluación y revisión posterior.

Organización	Existe continuidad entre requerimiento, obtención, procesamiento, distribución y empleo.	Registros de coordinación y evaluación del ejercicio.

Nota. Los indicadores buscan valorar el funcionamiento de la integración y no únicamente el desempeño técnico de la plataforma.

1.11.2 Criterios de evaluación

Tabla 16

Criterios propuestos para evaluar la propuesta conceptual

Criterio	Aspecto que se busca verificar
Pertinencia de la información	La información obtenida responde a una necesidad concreta de Ingeniería.
Adecuación tecnológica	La plataforma y los sensores responden a las exigencias de la tarea.
Oportunidad	El producto se encuentra disponible cuando todavía puede apoyar la operación.
Interpretación	Los datos son procesados y presentados de forma comprensible para el usuario.
Ubicación espacial	La información relevante se encuentra asociada con una ubicación o sector identificable.
Nivel de confianza	El producto permite diferenciar aquello que fue observado de lo que requiere confirmación.
Coordinación	Existe continuidad entre quienes solicitan, obtienen, procesan y utilizan la información.
Integración del personal	Los participantes conocen sus responsabilidades y trabajan de manera complementaria.
Utilidad para Ingeniería	La información contribuye al reconocimiento o preparación de las acciones relacionadas con el brechado.
Limitaciones identificadas	Se reconocen las capacidades que el sistema no puede proporcionar o que necesitan otros medios de confirmación.

Nota. Los criterios permiten valorar la propuesta durante actividades progresivas de planeamiento, simulación y entrenamiento.

1.12 Resultados esperados

La aplicación progresiva de la propuesta permitiría relacionar las capacidades de los UAS con necesidades concretas de Ingeniería, evitando que su empleo se limite a realizar reconocimiento general sin un requerimiento previamente establecido. La misión UAS podría orientarse desde el inicio hacia la información que necesita el elemento encargado del brechado y hacia el momento en que esta debe encontrarse disponible.

También se espera mejorar la transformación de los datos obtenidos en productos útiles para el usuario. Las imágenes, señales o anomalías podrían ser procesadas,

interpretadas y georreferenciadas antes de su distribución, manteniendo visible el nivel de confianza y las limitaciones de la información. Esta condición permitiría evitar que un indicio sea tratado como una amenaza confirmada o que la ausencia de una detección sea interpretada como seguridad del sector.

La participación conjunta de personal UAS, especialistas de Ingeniería y personal encargado del procesamiento permitiría desarrollar una comprensión común de las necesidades y posibilidades de cada capacidad. Esta relación favorecería la formulación de requerimientos más precisos, una mejor interpretación de los productos obtenidos y una delimitación más clara de las responsabilidades durante el proceso.

En las operaciones de apertura de brechas, la información obtenida mediante UAS podría complementar el reconocimiento y proporcionar mayores elementos antes de comprometer determinados medios y personal sobre el obstáculo. Su aporte a la protección y movilidad se mantendría relacionado con la oportunidad y utilidad de esa información, sin sustituir los procedimientos de seguridad ni los medios encargados de ejecutar físicamente la reducción.

La propuesta permitiría disponer de una base conceptual para desarrollar posteriores ejercicios, evaluaciones y estudios orientados a determinar su viabilidad técnica y operacional. Los resultados obtenidos en esas actividades podrían emplearse para ajustar los requerimientos tecnológicos, los procedimientos de información, las responsabilidades del personal y la organización necesaria para una posible incorporación progresiva de esta capacidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, R., & Michael, K. (2025). *Socio-Technical Theory*. https://open.ncl.ac.uk/theory-library/socio-technical-theory.pdf

Aiken, L. R. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. *Educational and Psychological Measurement, 45*(1), 131–142. https://doi.org/10.1177/0013164485451012

Barnawi, A., Kumar, K., Kumar, N., Thakur, N., Alzahrani, B., & Almansour, A. (2023). Unmanned aerial vehicle (UAV) path planning for area segmentation in intelligent landmine detection systems. *Sensors, 23*(16), 7264. https://doi.org/10.3390/s23167264

Baur, J., Dewey, K., Steinberg, G., & Nitsche, F. O. (2024). Modeling the effect of vegetation coverage on unmanned aerial vehicles-based object detection: A study in the minefield environment. *Remote Sensing, 16*(12), 2046. https://doi.org/10.3390/rs16122046

Bendezú Echevarría, S. A. (2021). *Desminado humanitario en la Cordillera del Cóndor 2015–2019: El papel del Ejército en los compromisos asumidos por el Perú en la Convención de Ottawa*. http://hdl.handle.net/20.500.12404/21313

Cruz Calizaya, W. P. (2024). *Empleo de drones en el sistema de inteligencia, vigilancia y reconocimiento para las acciones militares en el CE VRAEM, 2021*. https://hdl.handle.net/20.500.14141/330

Department of the Army. (2025). *Operaciones de ingeniería* (Field Manual No. 3-34). Headquarters, Department of the Army.

Department of the Army. (2016). *Engineer reconnaissance* (Army Techniques Publication ATP 3-34.81). Headquarters, Department of the Army. https://www.marines.mil/Portals/1/Publications/MCRP%203-34.3%20(W%20CH%201)%20(SECURED).pdf?ver=EBQtxiiY-g7aa46YDY1UBw%3D%3D

Endsley, M. R., & Garland, D. J. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. En M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation awareness analysis and measurement*. Lawrence Erlbaum Associates. https://www.researchgate.net/publication/292771806_Situation_awareness_analysis_and_measurement_chapter_theoretical_underpinnings_of_situation_awareness

Fardoulis, J., & Depreytere, X. (2020). Time to stem lightweight approaches and focus on real minefield data? *Journal of Conventional Weapons Destruction, 24*(2), 1–5. https://doi.org/10.5281/zenodo.4409677

Fernández Mego, D. (2024). *Empleo de vehículos aéreos no tripulados en las operaciones de reconocimiento de las patrullas de combate, Pichari Baja, 2022*. https://hdl.handle.net/20.500.14141/289

Forero Ramírez, J. C., Restrepo Girón, A. D., Nope Rodríguez, S. E., Loaiza Correa, H., Barandica López, A., & Buitrago Molina, J. T. (2025). Detección de minas antipersona usando máquinas de aprendizaje superficial en imágenes termográficas adquiridas desde un dron. *Revista UIS Ingenierías, 24*(2), 87–102. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10360431

García-Fernández, M., Álvarez-Narciandi, G., Álvarez López, Y., & Las-Heras, F. (2023). Array-based ground penetrating synthetic aperture radar on board an unmanned aerial vehicle for enhanced buried threats detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 61*, 5104218. https://doi.org/10.1109/tgrs.2023.3272982

Goodhue, D. L., & Thompson, R. L. (1995). Task-Technology Fit and Individual Performance. *MIS Quarterly*, *19*(2), 213-236. https://doi.org/10.2307/249689

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.

Kuru, K., Sujit, A., Ansell, D., Pinder, J. M., Jones, D., Watkinson, B. J., Hamila, R., & Tinker-Mill, C. (2024). Intelligent, automated, rapid, and safe landmine, improvised explosive device and unexploded ordnance detection using Maggy. *IEEE Access, 12*, 165736–165755. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3493013

Kuru, K., Sujit, A., Ansell, D., Watkinson, B., Jones, D., Pinder, J. M., & Tinker-Mill, C. L. (2025). Detecting and clearing explosive devices (ladmines/UXO/IDE) using small-scale customised drone—Part I. *Coordinates, 21*(2), 9–20. https://mycoordinates.org/pdf/feb25.pdf

Lee, J., & Lee, H. (2024). Modeling residual magnetic anomalies of landmines using UAV-borne vector magnetometer: Flight simulations and experimental validation. *Remote Sensing, 16*(16), 2916. https://doi.org/10.3390/rs16162916

Malaspina Gómez Sánchez, J. P., & Rebaza Merino, V. M. (2025). *Los drones comerciales y su impacto en las operaciones militares del Perú: 2023*. https://hdl.handle.net/20.500.14141/424

Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa: Guía didáctica*. Universidad Surcolombiana.

Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (5.ª ed.). Ediciones de la U.

Perrow, C. (1999). *Normal accidents: Living with high risk technologies—Updated edition*. Princeton University Press. https://doi.org/10.2307/j.ctt7srgf

Popov, M., Stankevich, S., Mosov, S., Dugin, S., Golubov, S., Andreiev, A., Lysenko, A., & Saprykin, I. (2024). Concept of a geoinformation platform for landmines and other explosive objects detection and mapping with UAV. *Radioelectronic and Computer Systems, 2024*(4), 207–216. https://doi.org/10.32620/reks.2024.4.17

Reason, J. (2000). Human error: Models and management. *BMJ: British Medical Journal, 320*(7237), 768–770. https://doi.org/10.1136/bmj.320.7237.768

Reason, J. T. (2016). *Managing the risks of organizational accidents* (Reprinted). Routledge, Taylor & Francis Group. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781134855353_A26566096/preview-9781134855353_A26566096.pdf (Obra original publicada en 1997, Ashgate Publishing)

Revilla Flores, R. R. (2025). *Empleo de drones en las capacidades militares de la Fuerza Terrestre del Perú, 2024–2025*. https://hdl.handle.net/20.500.14141/425

Weick, K. E., & Sutcliffe, K. M. (2007). *Managing the unexpected: Resilient performance in an age of uncertainty* (2.ª ed.). Jossey-Bass. https://www.researchgate.net/publication/265106124_Managing_the_Unexpected_Resilient_Performance_in_an_Age_of_Uncertainty



ANEXOS

ANEXO 1



MATRIZ DE CONSISTENCIA

Anexo 01: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	CATEGORÍAS Y SUBCATEGORÍAS	METODOLOGÍA
Problema General: ¿De qué manera podrían integrarse las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones? **Problemas Específicos:** ¿Qué capacidades de las aeronaves no tripuladas podrían emplearse en las operaciones de apertura de brechas en campos minados? ¿Cómo se desarrollan las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones? ¿Qué requerimientos deberían considerarse para el empleo de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones?	**Objetivo General:** Proponer la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones. **Objetivos Específicos:** Analizar las capacidades de las aeronaves no tripuladas que podrían emplearse en las operaciones de apertura de brechas en campos minados. Analizar el desarrollo de las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones. Analizar los requerimientos para el empleo de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones.	**C1: Capacidades de las aeronaves no tripuladas** **Subcategorías:** • Reconocimiento y vigilancia. • Sensores y sistemas de detección. • Detección e identificación de amenazas. • Procesamiento y análisis de información. • Georreferenciación y mapeo. **C2: Operaciones de apertura de Brechas en campos minados** **Subcategorías:** • Reconocimiento del obstáculo. • Reducción del obstáculo y apertura de la brecha. • Seguridad y protección de la fuerza. • Movilidad. • Apoyo a la maniobra. **C3: Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas** **Subcategorías:** • Requerimientos tecnológicos. • Requerimientos de la tarea. • Requerimientos de información y comunicaciones. • Requerimientos de personal. • Requerimientos organizacionales.	**Enfoque:** Cualitativo. **Tipo:** Teórico-empírico, de carácter propositivo. **Método:** Hermenéutico-interpretativo. **Diseño muestral:** Muestreo intencional no probabilístico. **Muestra:** 06 especialistas. **Técnicas** • Entrevista semiestructurada. • Análisis documental. • Observación. **Instrumentos** • Guía de entrevista semiestructurada. • Ficha de análisis documental. • Guía de observación. **Técnicas de análisis de la información** • Codificación cualitativa. • Categorización. **Análisis temático de contenido.** • Análisis interpretativo. • Triangulación de técnicas y fuentes. • Identificación de categorías o subcategorías emergentes.

ANEXO 2



VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Anexo 02: Validación del instrumento

Anexo 02: Validación del instrumento

PERÚ | Ministerio de Defensa | Ejército del Perú | Escuela Superior de Guerra-EPG

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Chorrillos, 04 de setiembre de 2026.

Informe N° 001

De : Rolando Martin MANRIQUE PAUCAR

Para : Juan Manuel DONAYRE DAVILA

Me dirijo a Usted respetuosamente para saludarlo y agradecer la designación para la evaluación de la validez de contenido de la Guía de Entrevista Semiestructurada, instrumento de recolección de información para la tesis titulada: Propuesta conceptual de aeronaves no tripuladas para apertura de brechas en campos minados durante maniobras de un ejército de operaciones.

Después de la evaluación metodológica correspondiente, se determina que:

a. La guía de entrevista cumple en su totalidad con los criterios metodológicos, por lo que es válida para proceder a la recolección de la información ( )

b. El instrumento no cumple en su totalidad con los criterios establecidos, por lo que deberá levantar las observaciones siguiendo las sugerencias propuestas ( )

Dr. Rolando M. MANRIQUE PAUCAR
ORCID: 0009-0005-3427-0310

PERÚ | Ministerio de Defensa | Ejército del Perú | Escuela Superior de Guerra-EPG

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Chorrillos, 04 de setiembre de 2026.

Informe N° 002

De : Wilson Carlos MENDOZA HINOSTROZA

Para : Juan Manuel DONAYRE DAVILA

Me dirijo a Usted respetuosamente para saludarlo y agradecer la designación para la evaluación de la validez de contenido de la Guía de Entrevista Semiestructurada, instrumento de recolección de información para la tesis titulada: Propuesta conceptual de aeronaves no tripuladas para apertura de brechas en campos minados durante maniobras de un ejército de operaciones.

Después de la evaluación metodológica correspondiente, se determina que:

a. La guía de entrevista cumple en su totalidad con los criterios metodológicos, por lo que es válida para proceder a la recolección de la información ( )

b. El instrumento no cumple en su totalidad con los criterios establecidos, por lo que deberá levantar las observaciones siguiendo las sugerencias propuestas ( )



Mg. Wilson C. MENDOZA HINOSTROZA
ORCID: 0009-0008-9186-5160

PERÚ | Ministerio de Defensa | Ejército del Perú | Escuela Superior de Guerra-EPG

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Chorrillos, 04 de setiembre de 2026.

Informe N° 003

De : Diaz SANTILLAN RODOLFO

Para : Juan Manuel DONAYRE DAVILA

Me dirjo a Usted respetuosamente para saludarlo y agradecer la designación para la evaluación de la validez de contenido de la Guía de Entrevista Semiestructurada, instrumento de recolección de información para la tesis titulada: Propuesta conceptual de aeronaves no tripuladas para apertura de brechas en campos minados durante maniobras de un ejército de operaciones.

Después de la evaluación metodológica correspondiente, se determina que:

a. La guía de entrevista cumple en su totalidad con los criterios metodológicos, por lo que es válida para proceder a la recolección de la información (X)

b. El instrumento no cumple en su totalidad con los criterios establecidos, por lo que deberá levantar las observaciones siguiendo las sugerencias propuestas ( )

Dr. Diaz SANTILLAN RODOLFO
ORCID: 0009-0004-9198-1322

PERÚ | Ministerio de Defensa | Ejército del Perú | Escuela Superior de Guerra-EPG

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Chorrillos, 04 de setiembre de 2026.

Informe N° 004

De : Cesar Lionel MORANTE CRUZ

Para : Juan Manuel DONAYRE DAVILA

Me dirijo a Usted respetuosamente para saludarlo y agradecer la designación para la evaluación de la validez de contenido de la Guía de Entrevista Semiestructurada, instrumento de recolección de información para la tesis titulada: Propuesta conceptual de aeronaves no tripuladas para apertura de brechas en campos minados durante maniobras de un ejército de operaciones.

Después de la evaluación metodológica correspondiente, se determina que:

a. La guía de entrevista cumple en su totalidad con los criterios metodológicos, por lo que es válida para proceder a la recolección de la información (X)

b. El instrumento no cumple en su totalidad con los criterios establecidos, por lo que deberá levantar las observaciones siguiendo las sugerencias propuestas ( )

Mg. Cesar Lionel MORANTE CRUZ
ORCID: 0000-0001-8279-4032

PERÚ | Ministerio de Defensa | Ejército del Perú | Escuela Superior de Guerra-EPG

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Chorrilos, 04 de setiembre de 2026.

De : Fernado Adalberto AGUIRRE BRIOLO

Para : Juan Manuel DONAYRE DAVILA

Me dirijo a Usted respetuosamente para saludarlo y agradecer la designación para la evaluación de la validez de contenido de la Guía de Entrevista Semiestructurada, instrumento de recolección de información para la tesis titulada: Propuesta conceptual de aeronaves no tripuladas para apertura de brechas en campos minados durante maniobras de un ejército de operaciones.

Después de la evaluación metodológica correspondiente, se determina que:

a. La guía de entrevista cumple en su totalidad con los criterios metodológicos, por lo que es válida para proceder a la recolección de la información ( )

b. El instrumento no cumple en su totalidad con los criterios establecidos, por lo que deberá levantar las observaciones siguiendo las sugerencias propuestas ( )

Dr. Fernado A. AGUIRRE BRIOLO
ORCID: 0000-0002706999331

ANEXO 3

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Anexo 03: Instrumentos de recolección de Información

GUÍA DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Buenos días/tardes, expresamos nuestro agradecimiento por el tiempo y la atención brindada para desarrollar la presente entrevista. La información y experiencias proporcionadas serán empleadas únicamente con fines académicos dentro de la investigación titulada: Propuesta conceptual de aeronaves no tripuladas para apertura de brechas en campos minados durante maniobras de un ejército de operaciones.

La información obtenida será tratada bajo criterios de confidencialidad y reserva.

Entrevistado:

Grado académico:

DNI:

Lugar y fecha:

Tiempo de servicio:

Categoría 1. Capacidades de las aeronaves no tripuladas

1. Desde su experiencia, ¿de qué manera las aeronaves no tripuladas podrían apoyar el reconocimiento y vigilancia de una zona donde existen campos minados antes y durante una operación de apertura de brechas?
2. ¿Qué sensores o sistemas de detección considera que podrían emplearse en aeronaves no tripuladas para detectar e identificar minas u otras amenazas presentes en el terreno?
3. ¿Cómo debería procesarse, analizarse y georreferenciarse la información obtenida por las aeronaves no tripuladas para que resulte útil durante una operación de apertura de brechas?

Categoría 2. Operaciones de apertura de brechas en campos minados

4. ¿Qué información considera necesaria durante el reconocimiento de un campo minado para planear y ejecutar la reducción del obstáculo y la apertura de una brecha?
5. ¿Qué aspectos deben considerarse para proteger al personal y los medios durante una operación de apertura de brechas en campos minados?
6. ¿De qué manera la apertura de una brecha contribuye a mantener la movilidad de la fuerza y apoyar la continuidad de la maniobra?

Categoría 3. Requerimientos para el empleo de UAS en operaciones de apertura de brechas

7. ¿Qué necesidades presentan las tareas desarrolladas durante una operación de apertura de brechas y qué características tecnológicas debería reunir un UAS para responder a ellas?
8. ¿Qué requerimientos de información y comunicaciones deberían considerarse para que la información obtenida por el UAS pueda ser utilizada durante la operación?
9. ¿Qué requerimientos relacionados con el personal y la organización deberían considerarse para incorporar el empleo de UAS en una operación de apertura de brechas?

Pregunta integradora

10. Considerando las capacidades de las aeronaves no tripuladas, las necesidades propias del brechado y los requerimientos identificados, ¿de qué manera considera que podrían integrarse los UAS en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones?

Anexo 03: Instrumentos de recolección de Información

FICHA DE ANÁLISIS DOCUMENTAL

La presente ficha tiene como finalidad registrar y analizar la información obtenida de documentos científicos, institucionales, doctrinarios y normativos relacionados con las capacidades de las aeronaves no tripuladas y las operaciones de apertura de brechas en campos minados. La información recopilada complementará los hallazgos obtenidos mediante las entrevistas semiestructuradas y contribuirá al proceso de triangulación de la información.

Tipo de documento	Referencia	Aspecto analizado
Documento doctrinario	Department of the Army. (2016). *Engineer reconnaissance* (Army Techniques Publication ATP 3-34.81). Headquarters, Department of the Army.	Reconocimiento de ingeniería, características del terreno y obstáculos e información necesaria para apoyar las operaciones de movilidad.
Documento doctrinario	Department of the Army. (2025). *Operaciones de ingeniería* (Field Manual No. 3-34). Headquarters, Department of the Army.	Reconocimiento y reducción de obstáculos, apertura de brechas, movilidad y apoyo de ingeniería a la maniobra.
Artículo científico	Barnawi, A., Kumar, K., Kumar, N., Thakur, N., Alzahrani, B., & Almansour, A. (2023). Unmanned aerial vehicle (UAV) path planning for area segmentation in intelligent landmine detection systems. *Sensors, 23*(16), 7264. https://doi.org/10.3390/s23167264	Planeamiento de trayectorias, cobertura del área y reconocimiento sistemático mediante UAV para apoyar la búsqueda de minas.
Artículo científico	García-Fernández, M., Álvarez-Narciandi, G., Álvarez López, Y., & Las-Heras, F. (2023). Array-based ground penetrating synthetic aperture radar on board an unmanned aerial vehicle for enhanced buried threats detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 61*, 5104218. https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3272982	Empleo de radar de penetración terrestre instalado en UAV, obtención de información y detección de amenazas enterradas.
Artículo científico	Lee, J., & Lee, H. (2024). Modeling residual magnetic anomalies of landmines using UAV-borne vector magnetometer: Flight simulations and experimental validation. *Remote Sensing, 16*(16), 2916. https://doi.org/10.3390/rs16162916	Empleo de magnetómetros transportados por UAV y posibilidades de detección de minas mediante anomalías magnéticas.
Artículo científico	Forero Ramírez, J. C., Restrepo Girón, A. D., Nope Rodríguez, S. E., Loaiza Correa, H., Barandica López, A., & Buitrago Molina, J. T. (2025). Detección de minas antipersona usando máquinas de aprendizaje superficial en imágenes termográficas adquiridas desde un dron. *Revista UIS Ingenierías, 24*(2), 87–102.	Empleo de termografía aérea y procesamiento de imágenes para apoyar la detección e identificación de minas antipersona.
Artículo científico	Kuru, K., Sujit, A., Ansell, D., Pinder, J. M., Jones, D., Watkinson, B. J., Hamila, R., & Tinker-Mill, C. (2024). Intelligent, automated, rapid, and safe landmine, improvised explosive device	Integración de plataforma no tripulada, sensores y procesamiento de información para la detección y

	and unexploded ordnance detection using Maggy. *IEEE Access, 12*, 165736–165755. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3493013	localización de minas y otros objetos explosivos.
Artículo científico	Popov, M., Stankevich, S., Mosov, S., Dugin, S., Golubov, S., Andreiev, A., Lysenko, A., & Saprykin, I. (2024). Concept of a geoinformation platform for landmines and other explosive objects detection and mapping with UAV. *Radioelectronic and Computer Systems, 2024*(4), 207–216. https://doi.org/10.32620/reks.2024.4.17	Georreferenciación, organización y representación espacial de información para la detección y elaboración de mapas de minas y otros objetos explosivos.
Artículo científico	Baur, J., Dewey, K., Steinberg, G., & Nitsche, F. O. (2024). Modeling the effect of vegetation coverage on unmanned aerial vehicles-based object detection: A study in the minefield environment. *Remote Sensing, 16*(12), 2046. https://doi.org/10.3390/rs16122046	Influencia de las condiciones del terreno y de la cobertura vegetal sobre el desempeño de la detección mediante UAV en ambientes de campos minados.
Tesis	Fernández Mego, D. (2024). *Empleo de vehículos aéreos no tripulados en las operaciones de reconocimiento de las patrullas de combate, Pichari Baja, 2022*. https://hdl.handle.net/20.500.14141/289	Empleo de aeronaves no tripuladas en reconocimiento, vigilancia y obtención de información para apoyar operaciones militares.
Artículo científico	Goodhue, D. L., & Thompson, R. L. (1995). Task-Technology Fit and Individual Performance. *MIS Quarterly, 19*(2), 213–236. https://doi.org/10.2307/249689	Relación entre las características de una tecnología y las necesidades de las tareas; aspectos para analizar los requerimientos tecnológicos y de la tarea asociados al empleo de UAS.
Documento académico	Abbas, R., & Michael, K. (2025). *Socio-Technical Theory*. https://open.ncl.ac.uk/theory-library/socio-technical-theory.pdf	Relación entre los componentes técnicos y sociales de un sistema; aspectos vinculados con los requerimientos tecnológicos, de personal y organizacionales para el empleo de UAS.
Capítulo académico	Endsley, M. R., & Garland, D. J. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. En M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation awareness analysis and measurement*. Lawrence Erlbaum Associates.	Percepción, comprensión y proyección de la información; aspectos relacionados con la obtención, comprensión y utilización de información durante la operación.
Libro académico	Perrow, C. (1999). *Normal accidents: Living with high risk technologies—Updated edition*. Princeton University Press. https://doi.org/10.2307/j.ctt7srgf	Relaciones e interdependencias entre tecnología, personas, procedimientos, información y comunicaciones dentro de sistemas complejos; aspectos vinculados con los requerimientos de información, comunicaciones y organización.

Nota. Considerar mínimo 10 fuentes documentales relevantes para el análisis.

GUÍA DE OBSERVACIÓN

GUÍA DE OBSERVACIÓN CUALITATIVA			
Observación N.°	**01**	**Fecha:**	**/ / 2026**
Lugar:			
Espacio – Situación:			

Aspectos observados	**Consideraciones interpretativas/analíticas respecto al aspecto observado**
Actividades de reconocimiento y vigilancia mediante el empleo de aeronaves no tripuladas.	
Sensores y sistemas de detección empleados para la obtención de información.	
Detección e identificación de amenazas u obstáculos presentes en el área observada.	
Procesamiento, análisis, georreferenciación y representación de la información obtenida mediante aeronaves no tripuladas	
Actividades de reconocimiento del obstáculo, reducción y apertura de la brecha.	
Medidas de seguridad y protección de la fuerza durante las actividades observadas.	
Acciones orientadas a mantener la movilidad y apoyar la continuidad de la maniobra.	
Características tecnológicas del UAS y su relación con las tareas desarrolladas.	
Obtención, transmisión y empleo de la información, así como las comunicaciones necesarias durante la actividad.	
Participación del personal, distribución de funciones y coordinación organizacional para el empleo de UAS.	
Observaciones adicionales:	
Nombre del investigador – observador:	

ANEXO 4

AUTORIZACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Anexo 04: Autorización para la recolección de datos

PERÚ	Ministerio de Defensa	Ejército del Perú	Escuela Superior de Guerra-EPG

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Chorrillos, 23 de mayo de 2026.

Oficio Nº 1175 /U-7.d.2.3/05.00

Señor GRAL BRIG DIRECTOR DE LA ESGE-EPG-CHORRILLOS

Asunto : Solicita autorización para la recolección de datos en el marco del trabajo de investigación.
Ref. : a**.** Reglamento de trabajos de investigación de la ESGE.
b. Plan de tesis aprobado por la Escuela de Postgrado – ESGE.

Tengo el honor de dirigirme a usted para expresarle mi cordial saludo y, a la vez, solicitar se sirva autorizar la ejecución de las actividades de recolección de información, como parte del desarrollo del trabajo de investigación titulado:

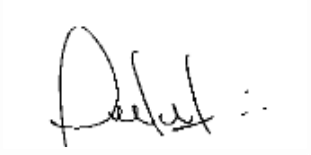
"Propuesta conceptual de aeronaves no tripuladas para apertura de brechas en campos minados durante maniobras de un ejército de operaciones".

La recolección de información se realizará mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas, el análisis documental y la observación**,** con la finalidad de recoger información de especialistas vinculados con las operaciones de ingeniería y apertura de brechas, el empleo de aeronaves no tripuladas y el planeamiento de operaciones militares, en concordancia con el diseño metodológico aprobado por la Escuela de Posgrado.

La información obtenida será utilizada exclusivamente con fines académicos y será tratada bajo criterios de confidencialidad, anonimato y respeto de los principios éticos de la investigación, preservándose la identidad de los participantes y la información institucional a la que pudiera tenerse acceso durante el desarrollo del estudio.

Agradeciendo de antemano las facilidades que se sirva brindar, hago propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración.

Dios guarde a Ud.



……
Bach: Juan Manuel DONAYRE DAVILA
https://orcid.org/0000-0003-4523-4516

DISTRIBUCIÓN:
- ESGE-EPG,. 01
- Archivo 01/02

ANEXO 5

FORMATO DE CONSENTIMIENTO

INFORMADO

Anexo 05: Consentimiento Informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Escuela Superior de Guerra del Ejército- Escuela de Posgrado

Investigador: Bach. Juan Manuel DONAYRE DAVILA

Maestría en Ciencias Militares con mención en Planeamiento Estratégico y Toma de Decisiones.

Título de Tesis: Propuesta conceptual de aeronaves no tripuladas para apertura de brechas en campos minados durante maniobras de un ejército de operaciones.

Propósito del estudio: La presente investigación tiene como propósito proponer la integración de las capacidades de las aeronaves no tripuladas en las operaciones de apertura de brechas en campos minados durante las maniobras de un Ejército de Operaciones. Para ello, se recogerán las experiencias y apreciaciones de especialistas vinculados con las operaciones de ingeniería y apertura de brechas, el empleo de aeronaves no tripuladas y el planeamiento de operaciones militares. La información obtenida permitirá analizar las capacidades de estos sistemas, comprender las necesidades propias de las operaciones de apertura de brechas e identificar los requerimientos necesarios para su empleo, a fin de determinar de qué manera estos elementos podrían articularse dentro de una propuesta conceptual.

Procedimiento: Si usted acepta participar en esta investigación, se realizará una entrevista semiestructurada con una duración aproximada de 45 a 60 minutos. Las preguntas estarán orientadas a recoger sus conocimientos, experiencias y apreciaciones sobre las capacidades de las aeronaves no tripuladas, las operaciones de apertura de brechas en campos minados y los requerimientos para su empleo en estas operaciones.

Con su autorización, la entrevista podrá ser registrada en formato de audio únicamente para facilitar la organización y el análisis de la información. Dicho registro será utilizado exclusivamente con fines académicos.

Riesgos: La participación en esta investigación no representa riesgos físicos, psicológicos ni laborales para el participante. Sin embargo, algunas preguntas estarán relacionadas con conocimientos, experiencias y apreciaciones profesionales sobre el empleo de aeronaves no tripuladas y las operaciones de apertura de brechas en campos minados. En todo momento, el participante podrá abstenerse de responder cualquier pregunta que considere inconveniente o retirarse del estudio sin consecuencia alguna. Asimismo, no se solicitará información clasificada, reservada o que pueda comprometer la seguridad de las operaciones o de la institución**.**

Beneficios: La participación permitirá contribuir al desarrollo de conocimiento académico sobre las capacidades de las aeronaves no tripuladas y sus posibilidades de integración en las operaciones de apertura de brechas en campos minados. Asimismo, los resultados podrán aportar elementos para formular una propuesta conceptual que articule estas capacidades con las necesidades propias del brechado y los requerimientos para su empleo, y servir como referencia para futuras investigaciones relacionadas con el empleo de nuevas tecnologías en las operaciones militares.

Costos e incentivos: La participación en el estudio es completamente voluntaria. No genera costo alguno para el participante ni contempla el otorgamiento de incentivos o compensaciones económicas.

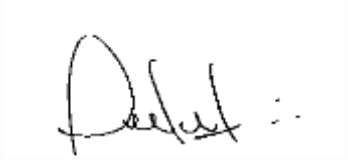
Confidencialidad: Toda la información proporcionada será tratada con estricta confidencialidad. Para preservar el anonimato, los participantes serán identificados mediante códigos y no mediante sus nombres o cualquier otro dato que permita su identificación.

La información obtenida será utilizada exclusivamente con fines académicos y únicamente tendrá acceso a ella el investigador responsable y, cuando corresponda, el asesor metodológico de la investigación.

Consentimiento: He leído la información contenida en el presente documento. Se me ha explicado el propósito de la investigación, el procedimiento, los posibles riesgos y beneficios, así como las condiciones de confidencialidad. He tenido la oportunidad de formular las preguntas que consideré pertinentes y estas han sido respondidas satisfactoriamente.

Chorrillos, 25 de Junio de 2026.

Investigador



……

Bach: Juan Manuel DONAYRE DAVILA

https://orcid.org/0000-0003-4523-4516