

Modelo De Transferencia Tecnológica En Las Actividades Tácticas Y Operacionales Del Ejército Nacional De Colombia

Autor

Ashlie Tatiana González García

Tutor

Beitmantt Geovanni Cardenas Quintero, PhD.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Maestría en Ingeniería Industrial

Énfasis en Sistemas Productivos y Logísticos

Bogotá, Colombia

octubre de 2026

Contenido

RESUMEN 7

ABSTRACT 8

INTRODUCCIÓN 9

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 11

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA 12

1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA 13

2. OBJETIVOS 14

2.1 OBJETIVO GENERAL 14

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

3. JUSTIFICACIÓN 15

4. MARCO TEÓRICO 21

4.1 Transferencia Tecnológica. 21

4.2 Tecnología militar 22

4.3 Implicaciones y tipologías de Tecnología para la defensa. 24

5. METODOLOGÍA 28

5.1 Descripción del Desarrollo de los Objetivos 30

5.2 Resultados e Impactos Esperados del Trabajo de Investigación 31

5.3 Limitaciones del Trabajo de Investigación 32

5.4 Impactos Esperados 33

6. DESARROLLO 35

6.1 MARCOS METODOLÓGICOS DE LOS MODELOS DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA 35

6.2 CARACTERIZACIÓN DEL MODELO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA A ADOPTAR..... 57

6.3 ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN Y CAPACITACIÓN SOBRE EL MODELO. 66

6.4 VALIDACIÓN DEL MODELO PROPUESTO..... 84

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 103

8. REFERENCIAS 107

Lista de Tablas

Tabla 1	Fuentes de información	27
Tabla 2	Técnicas e instrumento de recolección de información	28
Tabla 3	Comparación de Modelos de Hélice e innovación en Seguridad y Defensa	41
Tabla 4	Comparación de Niveles de Madurez para el Contexto Militar	49
Tabla 5	Matriz de variables del modelo de transferencia tecnológica propuesto	55
Tabla 6	Matriz de instrumentos normativos a evaluar dentro de las características del modelo propuesto	59
Tabla 7	Áreas de conocimiento a desarrollar con el modelo	61
Tabla 8	Componentes y actividades del procedimiento	63
Tabla 9	Actores, Rol y funciones dentro del ecosistemas de transferencia	72
Tabla 10	Matriz de Riesgo de la implementación del modelo.	75
Tabla 11	Cronograma resumen de actividades para la adopción	82
Tabla 12	Estadísticos categoría Utilidad percibida	88
Tabla 13	Estadísticos categorías métricas usadas	91
Tabla 14	Estadísticos categoría viabilidad institucional	94
Tabla 15	Estadísticos categoría Impacto Operativo y toma de decisiones	97
Tabla 16	Estadísticos categoría apropiación y Gestión de cambio	99
Tabla 17	Estadísticos categoría Sostenibilidad y Soporte Institucional	100

Lista de Figuras

Figura 1	Modelo de Triple hélice en innovación	35
Figura 2	Modelo de cuádruple hélice en innovación	36
Figura 3	Modelo de quíntuple hélice en innovación	38
Figura 4	Concepción del Lead User	39
Figura 5	Ciclo de adaptación tecnológico	40
Figura 6	Capacidad de absorción, aprendizaje e innovación	41
Figura 7	Modelo de utilidad tecnológica	43
Figura 8	Teoría unificada de aceptación y uso de tecnología	45
Figura 9	Factores que inciden en la confianza del uso de la tecnología	46
Figura 10	Integración de modelos de madurez TRL, IRL y MRL	48
Figura 11	Modelo de madurez de manufactura NASA	49
Figura 12	Diagrama de proceso de modelo de transferencia propuesto	65
Figura 13	Mapa de actores del ecosistema de transferencia tecnológica	69
Figura 14	Resultados iniciales dimensión de Utilidad Percibida	87
Figura 15	Diagrama de cajas e histograma dimensión de Utilidad Percibida	88
Figura 16	Resultados iniciales dimensión de Métricas Usadas	90
Figura 17	Diagrama de cajas e histograma dimensión de métricas utilizadas	91
Figura 18	Resultados iniciales dimensión de viabilidad institucional	93
Figura 19	Diagrama de cajas e histograma dimensión de viabilidad institucional	94

Figura 20	Diagrama de radar de la encuesta aplicada	95
Figura 21	Histograma y diagrama de cajas respuestas Impacto Operativo y Toma de decisiones	97
Figura 22	Histograma y diagrama de cajas respuestas apreciación y gestión del cambio	99
Figura 23	Histograma y diagrama de cajas respuestas sostenibilidad y soporte institucional	100

RESUMEN

El Ejército Nacional de Colombia enfrenta desafíos crecientes en un entorno operativo influenciado por la modernización tecnológica y la digitalización militar; a pesar del avance en tecnologías persiste una brecha entre los desarrollos científicos generados por instituciones de formación militar y su aplicación en el campo operacional. Iniciativas como el Plan de Educación para la Fuerza Pública (PEFuP), la Política de Ciencia y Tecnología - CTel 2024 y el CONPES 3975 buscan fomentar la innovación, pero aún no logran consolidar un modelo estructurado de transferencia tecnológica que vincule la investigación con las operaciones tácticas y operacionales, lo que limita la capacidad de respuesta del Ejército ante amenazas generadas por grupos delincuenciales y terroristas. Este documento realiza una revisión sobre los modelos de transferencia tecnológica usados por las fuerzas militares en un contexto global, luego describe experiencias exitosas en ejércitos de Latinoamérica para finalmente realizar una identificación de los factores destacables en Colombia y emitir una recomendación sobre el posible modelo a implementar por parte del Ejército Nacional.

PALABRAS CLAVE

Gestión de la innovación; transferencia tecnológica, transformación digital, tecnologías emergentes, tecnología militar.

ABSTRACT

The Colombian National Army faces growing challenges in an operational environment influenced by technological modernization and military digitalization; despite technological advances, a gap persists between scientific developments generated by military training institutions and their application in the operational field. Initiatives such as the Education Plan for the Public Force (PEFuP), the Science and Technology Policy (CTel 2024), and CONPES 3975 seek to foster innovation, yet they have not succeeded in consolidating a structured technology transfer model linking research with tactical and operational missions, thereby limiting the Army's capacity to respond to threats posed by criminal and terrorist groups. This document reviews technology transfer models used by military forces in a global context, describes successful experiences in Latin American armies, and finally identifies key factors in Colombia to provide recommendations on a potential model for implementation by the National Army.

KEY WORDS

Innovation management, technology transfer, digital transformation, emerging technologies, military technology.

INTRODUCCIÓN

El Ejército Nacional de Colombia – EJC enfrenta un entorno operativo cada vez más complejo debido a la modernización tecnológica y la creciente digitalización de los procesos militares; el avance de tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial (IA), los sistemas de información geográfica (GIS), las comunicaciones digitales y la inclusión de avances tecnológicos en prácticas de la guerra generan tanto nuevas oportunidades como desafíos para las Fuerzas Militares - FF.MM. en su misión de garantizar la seguridad y defensa de la soberanía del país (Ministerio de Defensa Nacional, 2021).

Sin embargo, la capacidad para integrar y aplicar los resultados de investigación científica y desarrollo tecnológico desarrollados al interior de las Escuelas de formación e instituciones de educación superior de las Fuerzas Militares en las actividades tácticas y operacionales del Ejército aún es insuficiente, lo que limita la efectividad operativa y la respuesta rápida ante conflictos modernos, lo que representa una oportunidad para mejorar significativamente la eficiencia operativa y la seguridad, adaptándose a las amenazas modernas y optimizando la respuesta a situaciones críticas (Restrepo R, 2024).

A pesar de los esfuerzos de modernización institucional como el Plan de Educación para la Fuerza Pública - PEFuP, la Política de Ciencia, Tecnología e Innovación para el sector Defensa y Seguridad Ctel 2024, los lineamientos del CONPES 3975, CONPES 4069, CONPES 4144 y Plan Estratégico Ejército para el Futuro - PETEF que definen las bases sobre las cuales se proyecta la inclusión de los elementos de transformación digital y transferencia tecnológica al interior del Ejercito los resultados de investigación al uso práctico en operaciones tácticas sigue siendo una tarea que ha enmarcado un conjunto de esfuerzos que aún no se han materializado (Ministerio de Defensa Nacional, 2021).

Esta situación se deriva de la desconexión entre los desarrollos tecnológicos obtenidos en los centros de investigación, grupos de investigación y proyectos desarrollados por las instituciones de educación superior del Ejército Nacional y su implementación en el teatro de operaciones que permitan mejorar la capacidad de respuesta y la toma de decisiones en tiempo real, lo cual sigue siendo un reto para atender (Montero M, 2020).

Por su parte, el Plan de Transformación Digital de las Fuerzas Militares plantea la necesidad de acelerar la incorporación de tecnologías avanzadas, pero la falta de un modelo formal y estructurado de transferencia tecnológica que facilite este proceso de integración entre los resultados de investigación (Ministerio de ciencia y tecnología, 2022) y las actividades operacionales sigue siendo un obstáculo clave.

El presente documento realiza un estudio analítico descriptivo en el que se realizará una revisión de los avances en la aplicación de modelos, técnicas y prácticas para la transferencia tecnológica en el sector de Seguridad y Defensa. El estudio realiza una revisión de la literatura que recoge las apreciaciones de un conjunto de oficiales superiores que ejercen roles de relevancia en el sistema de investigación de las fuerzas miliares y cierra con una propuesta de modelo de implementación que permita atender a la necesidad de acelerar el proceso de transferencia tecnológica para el incremento de capacidades en el Ejército Nacional de Colombia.

Lo señalado responde al objetivo de la Política Ctel2024 orientado a la promoción de la innovación tecnológica dentro de las Fuerzas Militares; donde no solo se requiere la creación, adaptación o estudios descriptivos de tecnologías en defensa, sino también de una estructura organizacional y un modelo eficiente de transferencia de tecnología que permita su aplicación práctica para enfrentar amenazas como el narcotráfico, el terrorismo y los delitos cibernéticos, dentro de un contexto de guerra híbrida y conflictos multifacéticos.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Ejército Nacional de Colombia – EJC enfrenta un entorno operativo cada vez más complejo debido a la modernización tecnológica y la creciente digitalización de los procesos militares; el avance de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA), los sistemas de información geográfica (GIS), las comunicaciones digitales y la inclusión de avances tecnológicos en prácticas de la guerra generan tanto nuevas oportunidades como desafíos para las Fuerzas Militares - FF.MM. en su misión de garantizar la seguridad y defensa de la soberanía del país (Ministerio de Defensa Nacional, 2021).

Sin embargo, la capacidad para integrar y aplicar los resultados de investigación científica y desarrollo tecnológico desarrollados al interior de las Escuelas de formación e instituciones de educación superior en las actividades tácticas y operacionales del Ejército aún es insuficiente, lo que limita la efectividad operativa y la respuesta rápida ante conflictos modernos (Universidad Externado de Colombia, s.f.).

Inclusive a pesar de los esfuerzos de modernización institucional, como el Plan de Educación para la Fuerza Pública - PEFuP, la Política de Ciencia, Tecnología e Innovación para el sector Defensa y Seguridad Ctel 2024 y los Lineamientos del CONPES 3975, la transferencia tecnológica de los resultados de investigación al uso práctico en operaciones tácticas sigue siendo una tarea que ha enmarcado un conjunto de esfuerzos que aún no se han materializado (Ministerio de Defensa Nacional, 2021).

Considerando que uno de los objetivos clave del Ctel2024 es la promoción de la innovación tecnológica dentro de las Fuerzas Militares, se requiere no solo la creación de tecnologías, sino también su aplicación práctica para enfrentar amenazas como el narcotráfico, el terrorismo y los delitos cibernéticos. Sin embargo, la falta de un modelo eficiente de transferencia de tecnología impide la integración de esas tecnologías en las operaciones diarias del Ejército, limitando su efectividad.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

La presente propuesta busca resolver el interrogante ¿Cuál es el modelo estratégico que permitiría realizar la transferencia tecnológica de los resultados de investigación científica, efectuados por las Instituciones de Educación Superior y las escuelas de formación militar a las actividades tácticas y operacionales del Ejército Nacional de Colombia? La respuesta a esta pregunta atiende al propósito de la mejora en la capacidad de respuesta ante amenazas y la optimización de sus operaciones en un entorno digital y tecnológico avanzado.

Esta investigación parte de la caracterización de un modelo a partir de guías e instructivos de los procesos relacionados con la transferencia tecnológica, la integración de los resultados de investigación científica y el desarrollo tecnológico a un contexto militar; evaluando las limitaciones existentes en la transferencia de tecnología entre los centros de investigación, las instituciones de educación superior y el Ejército Nacional de Colombia.

Posteriormente se establece una línea de base con un modelo organizacional articulado al Plan Estratégico de transformación digital del Comando General de Fuerzas Militares, el PETEF y el plan estratégico de las unidades de formación, que permita la adaptación de tecnologías emergentes con las necesidades operacionales y estratégicas del Ejército Nacional de Colombia.

1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

Para atender a el interrogante principal de esta investigación se definen las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las características comunes que tienen los modelos de transferencia tecnológica usados en el sector de seguridad y defensa a nivel global?
- ¿Qué elementos describen el proceso de generación y producción de resultados en desarrollo tecnológico e innovación dentro de las unidades de formación del Ejército Nacional de Colombia?
- ¿Cuáles son las limitaciones que se encuentran al interior del Ejercito Nacional para transferir los resultados de los productos de investigación científica a un contexto operacional?
- ¿Qué componentes debe tener un modelo de transferencia de los productos de desarrollo tecnológico e innovación para atender a los lineamientos estratégicos dispuestos por Comando General de Fuerzas Militares?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de transferencia tecnológica que integre los resultados de investigación científica y tecnológica en las actividades tácticas y operacionales ejecutadas por el Ejército Nacional de Colombia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las variables que inciden en la elaboración de marcos metodológicos aplicables en los modelos de transferencia tecnológica conforme a los lineamientos establecidos por el sistema de ciencia y tecnología Ctel y las buenas prácticas internacionales en procesos de innovación.
- Caracterizar el modelo de transferencia tecnológica a implementar, mediante la revisión de guías e instructivos para la integración de los resultados de investigación científica, ciencia aplicada y desarrollo tecnológico en un contexto militar.
- Definir estrategias de implementación y capacitación para los actores del sistema de investigación que permitan la adopción efectiva del modelo de transferencia tecnológica propuesto al interior de las escuelas de formación del Ejército Nacional.
- Validar la integración del modelo de transferencia tecnológica a través de la articulación al plan estratégico de transformación digital del Comando General de Fuerzas Militares – COGFM mediante un juicio de expertos.

3. JUSTIFICACIÓN

La transferencia tecnológica en el ámbito militar se fundamenta en teorías de innovación abierta (Chesbrough, 2003), sistemas de innovación de triple hélice (Etzkowitz, 2008), y buenas prácticas para la dirección de proyectos (PMI®, 2021) que articulan Estado, academia e industria para convertir conocimiento científico en aplicaciones operativas.

En el contexto colombiano, este enfoque adquiere relevancia crítica debido a la naturaleza dinámica de las amenazas modernas, como el narcotráfico transnacional, la minería ilegal y grupos armados con acceso a tecnologías. Estudios de la OECD (2021) evidencian que ejércitos con modelos estructurados de transferencia tecnológica incrementan hasta en un 40% su capacidad de respuesta ante amenazas emergentes.

El Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Defensa 2023-2026 (Mindefensa, 2023) subraya la necesidad de soberanía tecnológica para reducir la dependencia de importaciones, un desafío que el Ejército Nacional enfrenta actualmente, toda vez que, las tecnologías utilizadas en operaciones tácticas son adquiridas a proveedores extranjeros, lo que limita la adaptación a contextos locales y aumenta costos logísticos (CODALTEC, 2023). Este documento busca subsanar esta brecha mediante un modelo que priorice la articulación endógena entre centros de investigación nacionales y unidades operativas.

A su vez, un análisis del Centro de Estudios Estratégicos del Ejército (2022) identificó tres limitaciones críticas:

- Fragmentación institucional: Solo el 15% de los proyectos de I+D+i del Ejército se alinean con necesidades operativas inmediatas, debido a la falta de protocolos para priorizar investigaciones aplicables (Bdigital, 2019).

- Resistencia cultural: El 54% del personal militar carece de formación en alfabetización digital, lo que dificulta la adopción de nuevas tecnologías (PETIC, 2023).
- Falta de infraestructura: El 68% de las unidades no cuentan con sistemas interoperables para integrar datos satelitales en tiempo real (Fuerza Aérea Colombiana, 2023).

La implementación de un modelo de transferencia tecnológica se sustenta en los siguientes casos de éxito:

- Ejército de Chile: Mediante el programa *Innovación para la Defensa* (2021), redujo en un 35% el tiempo de respuesta ante emergencias al integrar simuladores tácticos desarrollados con la Academia de Guerra. Este modelo priorizó la co-creación de soluciones entre ingenieros militares y universidades (Espitia et al., 2021).
- CODALTEC (Colombia): Desarrolló el primer radar 100% colombiano en colaboración con la Universidad Nacional, demostrando que la transferencia tecnológica local es viable cuando se articulan recursos humanos especializados y financiamiento estatal (Mindefensa, 2023).
- Israel (Programa MAFAT): Mediante acuerdos de offset tecnológico, el 78% de las startups de ciberseguridad militar israelíes surgen de colaboraciones universidad-Ministerio de Defensa. Esto generó un ecosistema que atrae USD 3.2 mil millones anuales en inversión (Startup Nation Central, 2023).
- Corea del Sur (Agencia para el Desarrollo de la Defensa - ADD): Desarrolló el sistema de mando KICC (Korean Integrated Command Center) mediante consorcios con 12 universidades, reduciendo en 60% los tiempos de procesamiento de inteligencia (Defense News, 2022).

El modelo que se busca desarrollar en la presente investigación se alinea con instrumentos nacionales e internacionales como:

- CONPES 3582 (2009): Recomienda fortalecer la transferencia tecnológica mediante acuerdos de compensación (*offsets*) que vinculen adquisiciones militares con desarrollo industrial local (DNP, 2009).
- Plan de Transformación Digital (2023-2026): Exige la interoperabilidad de sistemas C4ISR (mando, control, comunicaciones, computación, inteligencia, vigilancia y reconocimiento) y la creación de una red única de datos para operaciones conjuntas (PETIC, 2023).
- Agenda 2030 de la OTAN: Prioriza la adopción de tecnologías emergentes (IA, biotecnología) mediante alianzas con centros de investigación, un enfoque replicable en Colombia (NATO, 2023).

Por otro lado, el desarrollo de la investigación permite dar continuidad a algunos previos como los de:

- Tamayo Herrera & Tamayo Herrera (2014): Señalan que los modelos de transferencia en defensa suelen ignorar la adaptación contextual, centrándose en replicar tecnologías extranjeras sin ajustarlas a geografías complejas.
- González Sabater (2009): Advierte que la falta de capacitación en I+D+i limita la sostenibilidad de los proyectos, un problema que el modelo aborda mediante programas de formación especializada.

Además, el trabajo se nutre del modelo de gestión ecuatoriano (Dialnet, 2023), que demostró cómo la articulación entre la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) y el sector industrial incrementó la autosuficiencia tecnológica en un 25%, con la fabricación local de sistemas de vigilancia fronteriza como sensores IoT usados en

control de armamento, control de espacios y otros insumos que ahorraría hasta USD 12 millones anuales en importaciones (CODALTEC, 2023).

Del mismo modo, mejoraría el proceso de toma de decisiones toda vez que la integración de algoritmos predictivos en tiempo real acortaría un 50% el tiempo de respuesta ante amenazas (PETIC, 2023). Finalmente, permite fortalecer la soberanía tecnológica, el que la fuerza pueda desarrollar patentes propias en áreas como ciberseguridad y drones tácticos, posicionando a Colombia como referente regional en defensa.

La transferencia tecnológica en contextos de militares se sustenta en un conjunto de referentes teóricos soportadas por las teorías de sistemas complejos adaptativos, capital tecnológico endógeno (Arocena, 2020) y ecosistemas de innovación militar (Dombrowski, 2022), que señalan cómo las organizaciones de defensa deben evolucionar mediante sinergias entre investigación aplicada y necesidades operativas, superando el paradigma lineal de I+D tradicional. El modelo propuesto adopta el concepto de "innovación dual" (Schmidt, 2020), que articula tecnologías civiles y militares bajo principios de escalabilidad y adaptabilidad contextual.

Así mismo, la teoría de la absorción de capacidades (Cohen & Levinthal, 1990) explica las barreras identificadas desde la perspectiva de la capacidad de una organización para internalizar conocimiento externo depende de su "capital de absorción", compuesto por:

- Capacidades previas (formación en STEM del personal)
- Inversión en I+D+i (≥2% del PIB según OCDE)
- Redes de colaboración (vínculos universidad-industria-Estado)

De este modo, el Modelo de Madurez de Capacidades Tecnológicas propuesto por el Centro de Estudios Estratégicos de la OTAN (NATO, 2023) establece cinco niveles de integración tecnológica:

- Adquisición pasiva
- Adaptación incremental
- Co-diseño con actores locales
- Desarrollo autónomo
- Exportación de soluciones.

El Ejército Nacional de Colombia se ubica en niveles iniciales, según el Índice de Autonomía Tecnológica en Defensa (IATeD 2023), lo que evidencia la importancia de transitar hacia etapas superiores mediante transferencia tecnológica estructurada.

En Colombia, el gasto en I+D+i del sector defensa alcanza solo el 0.3% del presupuesto militar (Mindefensa, 2023), muy por debajo del 1.8% de Chile o el 3.5% de Israel. Esto limita la creación de capacidades de absorción, perpetuando la dependencia tecnológica; incluso el Real Instituto Elcano (2023) sobre 20 ejércitos latinoamericanos demostró que aquellos con modelos de transferencia tecnológica basados en cuádruple hélice que agrega a sociedad civil como cuarto actor obtuvieron resultados como:

- Reducción de los costos de mantenimiento de sistemas
- Optimización del tiempo de implementación de nuevas tecnologías
- Eliminación de los errores operativos por incompatibilidad tecnológica

Estos resultados se explican mediante el Modelo de Innovación en Defensa 4.0 que prioriza:

- Interoperabilidad cognitiva: Entrenamiento conjunto entre científicos y mandos tácticos

- Prototipado ágil: Mediante la implementación de marcos de trabajo que permitan concentrarse en la generación continua de valor dentro del ciclo del proyecto. (PMI®, 2025)
- Gobernanza de datos: Plataformas unificadas tipo NATO's Federated Mission Networking (FMN)

Estos hallazgos coinciden con la Teoría de la Dependencia de Camino (North, 1990), que explica cómo las instituciones militares heredan estructuras rígidas que obstaculizan la adopción de innovaciones disruptivas, lo que requiere que se genere un modelo que integre tres componentes novedosos:

- Laboratorios de Guerra Experimental (LabGEx): Espacios de co-creación donde soldados prueban prototipos en simulaciones de conflicto real (inspirados en el US Army's AI Task Force).
- Sistema de Inteligencia Tecnológica (SITEC): Plataforma AI-driven que cruza datos de patentes, publicaciones científicas y necesidades operativas para priorizar proyectos.
- Esquemas de Financiamiento Híbrido: Combinando presupuesto castrense con fondos de regalías (SGR) y capital de riesgo especializado en defensatech.

Basado en el modelo de Retorno de Inversión en Innovación Militar (RIIM) (RAND Corporation, 2022) se proyecta una mejora en capacidad de detección temprana de amenazas mediante sensores IoT fabricados localmente, reducción de costos de ciberdefensa al desarrollar firewalls con la Universidad Nacional y un aumento de la velocidad de despliegue táctico usando sistemas de logística predictiva, que a su vez, permita establecer objetivos claros y determinar acciones para abordar oportunidades y riesgos (ISO, 2019)

4. MARCO TEÓRICO

4.1 TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA.

La transferencia tecnológica se ha definido desde diferentes aristas que reflejan su complejidad y multidimensionalidad; esta se define como el proceso mediante el cual el sector privado accede a avances científicos desarrollados en instituciones académicas, transformándolos en bienes, procesos o servicios comercializables. Este mecanismo implica actividades como diseminación, demostración, capacitación y adopción de nuevas técnicas, consolidándose como un nexo entre universidades y empresas para impulsar el desarrollo económico y técnico (López G., Mejía C., & Schmal S., 2006).

Bajo esta línea de desarrollo se conceptualiza la transferencia tecnológica como un ciclo sistémico que transmite capacidades, información y conocimientos para generar ventajas competitivas; este proceso se sustenta en resultados de I+D+i provenientes de universidades, centros de investigación y empresas, con el fin de mejorar el rendimiento industrial y comercial (Pérez Molina, 2012). Así mismo, La Comisión Europea complementa esta visión al destacar su relación con la gestión de derechos de propiedad intelectual, incluyendo identificación, protección y explotación de activos intangibles (Comisión Europea, 2022).

Es así, como se ha logrado establecer el concepto de la transferencia tecnológica como la transferencia de conocimiento sistemático para la elaboración de productos, procesos o servicios, donde se enfatiza su naturaleza bidireccional, donde proveedores (universidades, Estado) y receptores (empresas) interactúan bajo modelos colaborativos, como la Triple Hélice, que integra actores académicos, gubernamentales y empresariales (Londoño, Velásquez, & Villa, 2018) y el éxito del

proceso depende de la adaptación tecnológica a contextos locales y la integración de capacidades endógenas.

Finalmente, podemos cerrar la definición como la movilización de capital intelectual y *know-how* entre organizaciones, cuyo esfuerzo está orientado a la creación de productos y servicios viables comercialmente (Rodríguez & Fernandez de Navarrete, 2012). Esta visión resalta la importancia de acuerdos contractuales, licencias y regalías, que formalizan el intercambio de tecnología y garantizan beneficios mutuos, e incluso La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO) amplía el concepto al señalar que no solo implica compartir patentes o prototipos, sino también fortalecer ecosistemas de innovación mediante alianzas nacionales y/o internacionales, donde se pueden destacar programas de acceso a tecnologías, donde la adaptación local y la formación de capacidades son críticas. (WIPO, 2020).

4.2 TECNOLOGÍA MILITAR

La tecnología militar, también denominada tecnología para la defensa, se constituye un campo multidisciplinario que integra conocimientos científicos, capacidades técnicas y desarrollos de ingeniería orientados a la potencialización de capacidades para la seguridad nacional, la defensa y la superioridad estratégica. Su conceptualización ha sido abordada por organismos internacionales, entidades gubernamentales y académicos, quienes coinciden en su carácter estratégico y su impacto en la configuración de las relaciones de poder y seguridad global. La Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) define la tecnología militar como “el conjunto de innovaciones científicas y técnicas desarrolladas y aplicadas para mantener la superioridad estratégica y operativa, garantizar la interoperabilidad entre aliados y responder a amenazas emergentes en todos los dominios, incluidos el terrestre, marítimo, aéreo, espacial y cibernético” (NATO, 2024). Este enfoque

resalta la necesidad de anticipar y adaptarse a los cambios tecnológicos para preservar la seguridad colectiva y la disuasión.

En la misma línea de desarrollo, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) conceptualiza la tecnología militar como “el resultado de procesos integrados de investigación, desarrollo y adquisición, cuyo propósito es crear capacidades disruptivas que permitan disuadir conflictos, proteger los intereses nacionales y garantizar ventajas operativas en escenarios de guerra contemporánea y futura”. Este énfasis en la innovación como elemento central de la defensa moderna destaca la importancia de la inversión continua en ciencia y tecnología, con el fin de atender a tres líneas primarias de esfuerzo de la estrategia de seguridad nacional entre las que se desataca el “aumentar la capacidad de la letalidad mediante la inversión en nuevas capacidades” (Fojón, 2022).

Por otro lado, Corzo-Ussa, 2022, refiere que la tecnología militar es entendida como “el conjunto de herramientas, sistemas y procesos derivados del conocimiento científico y técnico, diseñados para la prevención, gestión y resolución de conflictos armados, así como para la protección de la soberanía y la integridad territorial” (Corzo-Ussa, 2022). Esta definición incorpora tanto el componente material (armamento, sistemas de información, plataformas) como el intangible (doctrinas, procedimientos, ciberseguridad).

Siendo así, es conveniente profundizar en el concepto hacia la innovación militar como “la introducción de cambios significativos en los modos operativos de las fuerzas armadas, que incrementan su eficacia y eficiencia, excluyendo reformas meramente administrativas”. Así, la tecnología militar no solo implica la adquisición de nuevos equipos, sino también la transformación de las capacidades organizacionales y doctrinales, mediante el desarrollo de esfuerzos que permitan la construcción de valor continua a las partes interesadas (ISO, 2021).

En el contexto nacional colombiano, la Corporación de Alta Tecnología para la Defensa (CODALTEC) define la tecnología para la defensa como “el conjunto de capacidades técnicas y científicas orientadas a reducir brechas tecnológicas en el sector defensa, priorizando áreas como la modelación, simulación, sensores y sistemas de mando y control” (CODALTEC, 2023).

Lo anterior, la importancia de la autosuficiencia tecnológica y la adaptación de soluciones a las necesidades estratégicas nacionales, que en sincronía con El Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y Comunicaciones de la Fuerza Aérea Colombiana (2023-2026) amplía la definición al considerar la tecnología militar como “la infraestructura digital crítica y los sistemas de información que soportan la soberanía, la integridad territorial y la operatividad en los dominios aéreo, espacial y cibernético” (Fuerza Aeroespacial Colombiana, 2023), lo que enfatiza el concepto de tecnología a todos los dominios de la defensa nacional y lo concibe como un ecosistema tecnológico integral.

4.3 IMPLICACIONES Y TIPOLOGÍAS DE TECNOLOGÍA PARA LA DEFENSA.

La OTAN (2024) clasifica las tecnologías militares emergentes y disruptivas en áreas como inteligencia artificial, sistemas autónomos, biotecnología, energía dirigida, tecnologías hipersónicas y ciberseguridad. Estas tecnologías son consideradas prioritarias por su potencial para transformar la naturaleza de los conflictos y alterar los equilibrios estratégicos globales. (NATO, 2024)

Por su parte, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa (DARPA) de Estados Unidos enfatiza que la tecnología militar implica “la exploración y desarrollo de soluciones tecnológicas de alto riesgo e impacto, orientadas a resolver desafíos estratégicos mediante la innovación disruptiva” (DARPA, 2019). Este enfoque destaca la importancia de la investigación avanzada y la experimentación en la defensa. La Comisión Europea (2023) y el Instituto de las

Naciones Unidas para la Investigación sobre el Desarme (UNIDIR) advierten que la tecnología militar debe desarrollarse bajo marcos éticos y regulatorios que garanticen el respeto al Derecho Internacional Humanitario y prevengan el uso indiscriminado de tecnologías autónomas o de doble uso.

La tecnología militar es un campo estratégico, dinámico y multidimensional, cuyo desarrollo involucra a actores estatales, industriales y académicos. Su conceptualización abarca desde la creación de capacidades técnicas avanzadas hasta la integración de sistemas complejos que aseguran la defensa y la seguridad nacional. El consenso entre organismos internacionales, gobiernos y expertos destaca la necesidad de una innovación responsable, la cooperación internacional y el desarrollo de marcos regulatorios que permitan aprovechar los beneficios de la tecnología sin comprometer la estabilidad y la paz global.

La tecnología militar puede clasificarse según su el nivel de madurez (investigación, desarrollo, producción, despliegue), por su función estratégica (defensa, ataque, inteligencia, logística) e incluso por su la aplicabilidad dual (uso civil y militar). Conforme a esto; la OTAN organiza las tecnologías militares según su ámbito de aplicación en cinco dominios:

- Terrestre: Sistemas de armamento convencional (tanques, artillería), vehículos blindados y sistemas de protección personal.
- Marítimo: Plataformas navales (portaaviones, submarinos), sistemas antisubmarinos y de guerra electrónica.
- Aéreo: Aviones de combate, drones autónomos (UAV) y sistemas de defensa antiaérea.
- Espacial: Satélites de comunicación, navegación y vigilancia orbital.
- Cibernético: Herramientas de ciberseguridad, guerra electrónica e inteligencia artificial (IA) para neutralizar amenazas digitales. (NATO, 2025)

Esta categorización refleja la evolución del concepto del conflicto hacia la guerra multidominio, donde la integración de capacidades transversales es crítica (Real Instituto Elcano, 2023); sin embargo, estas tecnologías atienden a un nivel de madurez tecnológica donde se exaltan las tecnologías emergentes y disruptivas, que según el Departamento de Defensa de Estados Unidos (2024), incluyen:

- Inteligencia artificial operativa: Algoritmos para reconocimiento de objetivos y logística predictiva.
- Armas hipersónicas: Misiles que superan Mach 5, capaces de evadir sistemas de defensa actuales.
- Sistemas autónomos letales: Robots y drones con capacidad decisoria limitada.
- Biotecnología aplicada: Exoesqueletos para mejora física de soldados y sistemas de detección de patógenos. (U.S Department of Defense, 2024)

Por otro lado, tenemos las denominadas tecnologías establecidas, en las que se encuentran:

- Sistemas de armamento convencional: Fusiles de asalto, tanques y artillería de medio y largo alcance.
- Comunicaciones seguras: Redes encriptadas y sistemas de mando y control (C4ISR).

Es de consideración que la evolución que han experimentado los conflictos con la irrupción de nuevas formas de concebir la acción violenta o agresora, origina que los gobiernos se decanten, no sólo por las inversiones en desarrollos tecnológicos en los campos tradicionales, sino en aquellos que van a proporcionar una clara supremacía en el combate ante los peligros potenciales del terrorismo (CESEDEN, 2007) y esto lleva a poder clasificar la tecnología por función estratégica:

- Tecnologías de disuasión: Armas nucleares: Sistemas de lanzamiento balístico intercontinental (ICBM) y Defensa antimisiles: Sistemas como el Aegis (EE.UU.) o el S-500 (Rusia).
- Tecnologías de defensa activa: Sistemas de protección activa (APS): Artillería que intercepta proyectiles antitanques o Contramedidas electrónicas: Interferencia de señales enemigas.
- Tecnologías de soporte logístico: Impresión 3D: Fabricación de repuestos en zonas de operación y plataformas de simulación: Entrenamiento virtual y sistemas de realidad aumentada.

La *Comisión Europea* (2000), realiza la clasificación de la tecnología que puede afectar e impacta los intereses para la defensa de los productos, equipos informáticos y tecnologías que puedan destinarse tanto a usos civiles como militares, distinguiéndolos entre:

- Tecnologías de uso exclusivo militar: Armas químicas/biológicas y sistemas de cifrado cuántico para comunicaciones estratégicas.
- Tecnologías de doble uso: Drones civiles adaptados para reconocimiento. Y Sistemas GPS, originalmente militares, ahora infraestructura civil global.

Finalmente, O'Hanlon (2019) propone cuatro categorías basadas en su función táctica:

- Sensores y vigilancia: Radares, satélites y sistemas de reconocimiento.
- Computación y comunicaciones: Big data, IA y redes 5G/6G.
- Plataformas de armas: Aviones no tripulados, buques de guerra y vehículos autónomos.
- Armas avanzadas: Láseres, armas electromagnéticas y nanotecnología (O'Hanlon, 2019)

5. METODOLOGÍA

La presente investigación sobre el modelo de transferencia tecnológica en las actividades tácticas y operacionales del Ejército Nacional de Colombia requiere un marco metodológico sólido que permita abordar de manera sistemática y rigurosa el problema planteado. El enfoque metodológico propuesto se fundamenta en la necesidad de construir un modelo integrado que facilite la implementación efectiva de resultados de investigación científica y desarrollo tecnológico en el contexto militar colombiano, considerando las particularidades operacionales y estratégicas de esta institución.

La investigación se enmarca en un enfoque mixto que combina elementos cualitativos y cuantitativos para abordar la complejidad del problema desde múltiples perspectivas para obtener una comprensión integral del fenómeno de transferencia tecnológica en el contexto militar, aprovechando las fortalezas de ambas metodológicas para generar hallazgos confiables, este trabajo se enmarca en un alcance descriptivo-propositivo. Inicialmente adopta un carácter exploratorio para examinar los modelos de transferencia tecnológica existentes y las particularidades del contexto militar colombiano, considerando que existe literatura limitada sobre este tema específico en el ámbito nacional.

Posteriormente, desarrolla un componente descriptivo para caracterizar los procesos actuales de investigación científica en las instituciones de educación superior militares y las limitaciones existentes en la transferencia tecnológica. Finalmente, adopta un enfoque propositivo al diseñar un modelo específico adaptado a las necesidades operacionales del Ejército Nacional de Colombia.

La metodología cualitativa que adapta la presente investigación explora percepciones, experiencias y barreras culturales que enfrentan los actores involucrados en los procesos de transferencia tecnológica, mientras que el

componente cuantitativo facilitará la medición de variables específicas relacionadas con la efectividad operacional y los indicadores de implementación tecnológica.

Según el propósito, esta investigación se enmarca en una tipología de investigación aplicada orientada a resolver problemas prácticos específicos del Ejército Nacional de Colombia, buscando generar conocimiento útil y aplicable para mejorar los procesos de transferencia tecnológica, con el objetivo de incrementar la capacidad operacional y la respuesta ante amenazas modernas.

Tabla 1. Fuentes de información.

Tipo	**Fuente**
Primarias: Incluyen información obtenida directamente de los actores del sistema de investigación militar, mediante entrevistas estructuradas y semiestructuradas	• Personal académico e investigadores de las instituciones de educación superior militares (Universidad Militar Nueva Granada, Escuela de Logística del Ejército, ESDEG) • Mandos militares con experiencia en operaciones tácticas y toma de decisiones operacionales • Especialistas en ciencia y tecnología del Comando de Educación y Doctrina del Ejército (CEDOC) • Funcionarios del Ministerio de Defensa Nacional y entidades del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación • Expertos internacionales en transferencia tecnológica militar mediante consulta virtual.
Secundarias: Las fuentes secundarias comprenden documentos y publicaciones existentes que proporcionan el contexto teórico y empírico de la investigación.	• Literatura científica especializada en transferencia tecnológica, innovación militar y sistemas de investigación • Documentos institucionales como planes estratégicos, políticas de CTI, manuales operacionales • Normatividad nacional e internacional relacionada con ciencia, tecnología e innovación en defensa • Estudios de caso de otros ejércitos con experiencias exitosas en transferencia tecnológica • Bases de datos especializadas en investigación militar y tecnología de defensa

Fuente. *Autora*

La investigación aplica un conjunto de técnicas e instrumentos para la recolección de información como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Técnicas e instrumento de recolección de información.

Técnica	Instrumento
Cualitativo	Grupo Focal: Se aplicarán entrevistas con 12 oficiales superiores que lideran las unidades del sistema de investigación en las que interviene el Ejército Nacional de Colombia mediante un panel de expertos para explorar percepciones, experiencias y propuestas relacionadas con la transferencia tecnológica, también se incluyen sesiones de discusión grupal con investigadores y personal militar para generar ideas colectivas sobre las características que debería tener el modelo de transferencia tecnológica propuesto.
Cuantitativa	Encuestas Estructuradas: Se aplicarán cuestionarios con preguntas cerradas a 56 oficiales superiores de Estado Mayor para obtener información cuantificable sobre variables específicas como nivel de formación del personal militar, frecuencia de uso de tecnologías, y valoración de necesidades tecnológicas Análisis Documental Cuantitativo: Se realizará análisis estadístico de bases de datos institucionales para caracterizar la producción científica de las instituciones militares, identificar tendencias en investigación y medir indicadores de transferencia tecnológica existentes.

Fuente: *Autora*

5.1 DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS

Objetivo Específico 1: Para identificar las variables que inciden en la elaboración de marcos metodológicos aplicables en los modelos de transferencia tecnológica, se implementará una revisión sistemática de literatura siguiendo protocolo PRISMA. Esta revisión incluirá:

- Búsqueda exhaustiva en bases de datos especializadas (Scopus y Web of Science)
- Análisis bibliométrico para identificar tendencias y patrones en la investigación sobre transferencia tecnológica militar
- Identificación de variables críticas mediante análisis de contenido de estudios empíricos

Objetivo Específico 2: La caracterización del modelo de transferencia tecnológica se desarrollará mediante análisis comparativo de guías e instructivos existentes

- Análisis documental de marcos normativos nacionales e internacionales

- Estudio de casos múltiples de ejércitos con modelos exitosos de transferencia tecnológica
- Entrevistas con expertos para validar hallazgos documentales
- Construcción de matriz comparativa que identifique elementos comunes y diferenciadores

Objetivo Específico 3: El desarrollo de estrategias de implementación y capacitación utilizará metodología participativa que involucre a los actores del sistema:

- Talleres de cocreación con investigadores y personal militar para diseñar estrategias contextualmente apropiadas
- Análisis de brechas entre capacidades actuales y requerimientos del modelo propuesto.
- Diseño de programas de capacitación basados en principios de educación adulta y aprendizaje organizacional.

Objetivo Específico 4: La validación del modelo propuesto se realizará mediante juicio de expertos utilizando la técnica Delphi modificada:

- Selección de panel de expertos con criterios específicos de experiencia en el teatro de operaciones.
- Análisis estadístico de resultados para determinar nivel de acuerdo entre expertos
- Refinamiento del modelo basado en retroalimentación recibida.

5.2 RESULTADOS E IMPACTOS ESPERADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- Modelo estructurado de transferencia tecnológica: Se espera entregar un modelo formal, adaptado al contexto de la Escuela Superior de Guerra y el departamento

del Ejército Nacional de Colombia, que articule los resultados de investigación científica y tecnológica con las necesidades tácticas y operacionales de la institución; elemento que podrá extrapolarse para la identificación de componentes replicables en las otras fuerzas.

- Identificación de variables y barreras: El estudio permitirá identificar las variables clave, limitaciones y factores que actualmente dificultan la transferencia tecnológica efectiva, tales como la fragmentación institucional, la resistencia cultural y la falta de infraestructura interoperable centrado específicamente en los procesos desarrollados por las escuelas de formación en el Ejército Nacional de Colombia.

- Estrategias de implementación y capacitación: El desarrollo de estrategias y programas de formación orientados a fortalecer las capacidades de absorción tecnológica y la apropiación de innovaciones por parte del personal militar aplicable para el personal del Ejército Nacional y las otras dependencias del Comando General de Fuerzas Militares.

- Propuesta de integración al plan estratégico: El modelo propuesto estará alineado con los lineamientos del Plan Estratégico de Transformación Digital del Comando General de las Fuerzas Militares y las políticas nacionales de ciencia, tecnología e innovación.

5.3 LIMITACIONES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo de grado, se identifican las siguientes limitaciones para el desarrollo de este trabajo de investigación:

- Falta de articulación y uso de información: Existe una desconexión significativa entre los centros de investigación, las instituciones de educación superior militares y las unidades operativas, lo que dificulta la alineación de los resultados de I+D+i con las necesidades reales del terreno. En este sentido, el trabajo presenta limitación en el uso y divulgación de información que no se encuentra centralizada y que es

considerada sensible por parte de los oficiales superiores que lideran los procesos de investigación.

- Resistencia cultural y limitación de formación: Una parte considerable del personal militar en el teatro de operaciones carece de competencias en alfabetización digital y en gestión de la innovación, lo que limita la apropiación y uso efectivo de nuevas tecnologías, el presente estudio se desarrolla con el personal de oficiales superiores que desarrollan sus actividades en el ecosistema de investigación de la escuela Superior de Guerra, Escuela Militar de Cadetes y Comando General.

- Limitaciones presupuestales: El financiamiento destinado a actividades de investigación, desarrollo e innovación en el sector defensa es bajo en comparación con otros países, lo que restringe la capacidad de absorción tecnológica y la sostenibilidad de los proyectos, considerando que muchas unidades militares no cuentan con la infraestructura tecnológica adecuada ni con sistemas interoperables que permitan la integración eficiente de tecnologías emergentes el estudio se desarrolla en las unidades del sistema de investigación del Ejército Nacional en la ciudad de Bogotá durante el periodo 2025 – 2026.

- Falta de normativas y regulación: La ausencia de lineamientos operativos y jurídicos bien definidos para la transferencia tecnológica genera duplicidad de esfuerzos, manejo ineficiente de recursos y dificulta la supervisión y evaluación de las actividades de desarrollo tecnológico e innovación.

- Dependencia tecnológica externa: La mayoría de las tecnologías empleadas en operaciones tácticas son importadas, lo que incrementa la vulnerabilidad ante restricciones externas y limita la adaptación a las particularidades del contexto colombiano.

5.4 IMPACTOS ESPERADOS

- Mejora de la capacidad operativa y de respuesta: La transferencia efectiva de tecnología permitirá una mayor capacidad de reacción ante amenazas modernas en

una guerra multidominio, optimizando el uso de tecnologías emergentes como IA, GIS y comunicaciones digitales.

- Reducción de la dependencia tecnológica externa: Al fortalecer la articulación entre centros de investigación nacionales y unidades operativas, se espera disminuir la dependencia de tecnologías importadas, promoviendo el desarrollo y la autosuficiencia tecnológica local.

- Incremento de la interoperabilidad y la innovación: Se espera lograr mayor interoperabilidad entre sistemas y unidades, así como fomentar la cultura de innovación mediante la creación de laboratorios de guerra experimental y plataformas de inteligencia tecnológica.

- Fortalecimiento de la soberanía y la seguridad nacional: El desarrollo de capacidades propias en áreas estratégicas (ciberseguridad, drones, logística predictiva) posicionará al Ejército como referente regional y contribuirá a la soberanía tecnológica y la seguridad del país.

- Impacto en la toma de decisiones y la gestión del conocimiento: La integración de herramientas tecnológicas avanzadas (algoritmos predictivos, sistemas de vigilancia tecnológica) permitirá mejorar la toma de decisiones en tiempo real y la gestión eficiente del conocimiento institucional.

6. DESARROLLO

La transformación de los conflictos contemporáneos ha impuesto una presión sobre las fuerzas armadas convencionales a nivel global. La irrupción de la Cuarta Revolución Industrial en el ámbito de la defensa no solo ha alterado los instrumentos de la guerra, sino que ha redefinido la naturaleza misma de las operaciones militares. Para el Ejército Nacional de Colombia (EJC), una institución forjada en décadas de conflicto asimétrico y un escenario de amenazas híbridas y multidimensionales, el desafío requiere mantener la superioridad operacional contra actores armados ilegales que se adaptan rápidamente, y simultáneamente modernizar su arquitectura institucional para integrar tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial (IA), los sistemas aéreos no tripulados (UAS) y la ciberdefensa.

6.1 MARCOS METODOLÓGICOS DE LOS MODELOS DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

En el contexto colombiano, a pesar de la existencia de marcos normativos como la Política de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Sector Defensa (CTeI 2024), el Plan Estratégico del Ejército para el Futuro (PETEF) y los lineamientos del CONPES 3975 sobre transformación digital, persiste una desconexión operativa. Los desarrollos tecnológicos a menudo quedan confinados a prototipos académicos que los hacen obsoletos antes de llegar al teatro de operaciones. Esta ineficiencia no es meramente administrativa; tiene implicaciones directas en la capacidad de respuesta ante amenazas como el narcotráfico transnacional, la minería ilegal y el terrorismo, donde la ventaja tecnológica puede significar la diferencia.

Es así como se analizan los paradigmas de innovación abierta y los sistemas de Triple y Cuádruple Hélice, adaptándolos a la realidad militar. Posteriormente, se realiza un estudio comparativo de modelos internacionales exitosos, con énfasis en las iniciativas de "Innovación Liderada por el Soldado" (Soldier-Led Innovation) del Ejército de los Estados Unidos, tales como EagleWerx, el Marne Innovation Center y la Fuerza de Equipamiento Rápido (REF). Se examinan las métricas de aceptación tecnológica bajo modelos como UTAUT y TAM, ajustados a la cultura militar, indicadores de madurez que trascienden el TRL (Technology Readiness Level) y la preparación del sistema (SRL).

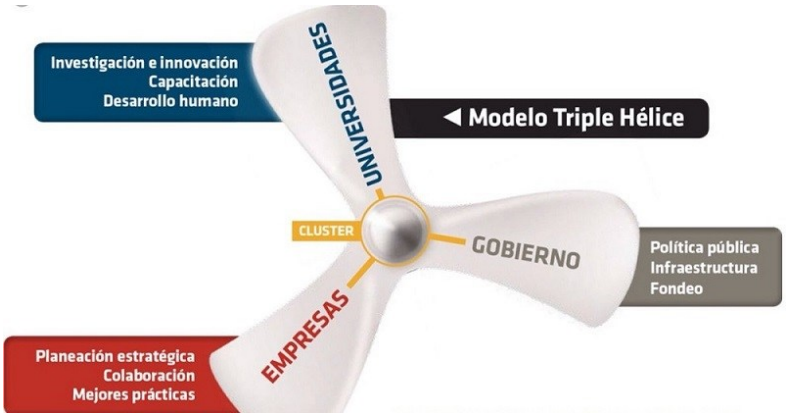
Evolución de la Transferencia Tecnológica en Defensa.

Históricamente, la tecnología militar se desarrolló bajo un paradigma de "Innovación Cerrada", donde los laboratorios estatales de defensa controlaban todo el ciclo de vida del producto, desde la investigación básica hasta el despliegue. Este modelo, eficaz durante la Guerra Fría, se ha vuelto insostenible ante la velocidad de innovación del sector comercial civil (Dual-Use Technologies). La teoría de la Innovación Abierta (Chesbrough, 2003) se presenta como el marco necesario para la modernización militar, postulando que las organizaciones deben utilizar flujos de conocimiento tanto internos como externos para acelerar la innovación interna.
En el contexto del Ejército Nacional de Colombia, la adopción de la Innovación Abierta implica reconocer que las soluciones a los problemas tácticos no residen exclusivamente dentro de los batallones o la industria militar tradicional como Indumil, CODALTEC o COTECMAR sino que pueden provenir de universidades, startups, aliados internacionales e incluso de la sociedad civil.

Modelo de la Triple Hélice en escenarios militares

La interacción entre los actores del sistema de ciencia y tecnología se ha modelado tradicionalmente a través de la Triple Hélice (Cai & Etzkowitz, 2020).

Figura 1. Modelo de Triple hélice en innovación.



Fuente: *(investigación360, 2022)*

Donde allí se describe la sinergia entre:

- Academia: Generadora de conocimiento fundamental y aplicado, para el ejército nacional incluye instituciones como la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG), la Escuela Superior de Guerra (ESDEG), La Escuela Militar de Cadetes, La Escuela de Armas combinadas entre otras escuelas de formación.
- Industria: Responsable de la materialización, producción y escalado de la tecnología.
- Gobierno: Que actúa como regulador y, crucialmente, como el cliente único o principal que define los requisitos operativos a cargo del ministerio de defensa nacional.

Sin embargo, la revisión documental sugiere que este modelo es insuficiente para abordar la complejidad de las operaciones modernas si no se evoluciona hacia una Cuádruple Hélice. Este cuarto elemento es el Usuario Operacional o la sociedad civil organizada. La exclusión del usuario final en las etapas tempranas del desarrollo tecnológico es una de las causas principales del fracaso en la

transferencia en las que se desarrollan soluciones tecnológicamente avanzadas que no responden a las necesidades ergonómicas, cognitivas o tácticas del soldado en combate.

El Modelo de la Cuádruple Hélice, integración del Usuario Operacional

La evolución hacia el modelo de la Cuádruple Hélice representa un cambio cualitativo fundamental al incorporar un cuarto actor que permiten consolidar a la sociedad civil, los medios y la cultura basada en el conocimiento. En el contexto específico de la transferencia tecnológica para el Ejército, este cuarto eje se traduce en la Comunidad de Usuarios que se encuentran dentro del teatro operacional y la sociedad civil organizada en los territorios de operación y donde se desarrollan despliegues.

Figura 2. Modelo de cuádruple hélice en innovación.



Fuente: *Adaptado por la autora de* (Roman, 2020)

Este modelo enfatiza la importancia de una "democracia basada en el conocimiento", donde la innovación no solo es técnicamente viable, sino

socialmente aceptada y operativamente legítima. (Carayannis y Campbell, 2009), para el Ejército Nacional, la aplicación de la Cuádruple Hélice permite:

- Innovación Centrada en el Usuario: Al integrar al soldado desde las etapas de ideación (TRL 1-2), se reduce el riesgo de desarrollar equipos ergonómicamente deficientes o tácticamente irrelevantes.
- Legitimidad y Cohesión Social: La transferencia tecnológica en zonas de conflicto a menudo implica tecnologías de uso dual que benefician a la población civil a través de infraestructura de comunicaciones, sensores ambientales, desarrollo energético entre otros; este modelo asegura que estos desarrollos cuenten con el respaldo de la comunidad local, facilitando el control territorial.
- Mecanismos de Retroalimentación y lecciones aprendidas: A diferencia de la Triple Hélice, que puede cerrarse en círculos burocráticos-académicos, la cuarta hélice introduce el concepto de Living Labs operacionales, donde los prototipos son probados en condiciones de reales por el usuario final antes de su escalado industrial.

El Modelo de la Quíntuple Hélice inclusión Sostenibilidad.

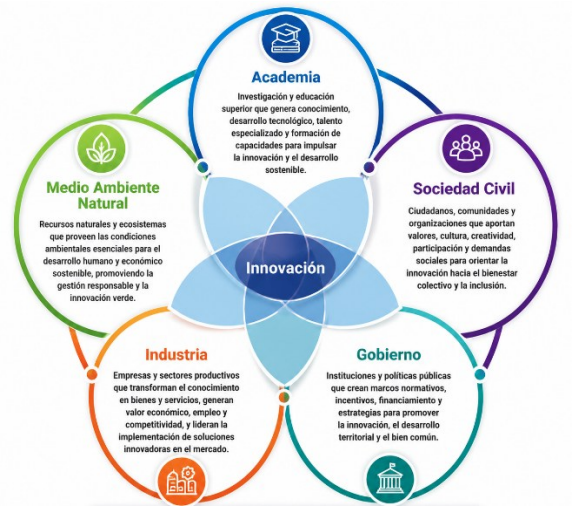
Este marco es más exhaustivo y contemporáneo, toda vez que, añade el Medio Ambiente como el quinto elemento esencial. Este paradigma, formulado por (Carayannis, 2012) postula que la producción de conocimiento y la innovación deben enmarcarse en el contexto del desarrollo sostenible y la ecología social.

Para las Fuerzas Militares de Colombia, la Quíntuple Hélice no es un concepto periférico, sino un imperativo estratégico alineado con las misiones de protección de la biodiversidad y las tendencias globales de la OTAN en términos de seguridad humana y seguridad ambiental. Las variables que se incluye dentro de esta concepción son:

- Innovación Socio ecológica: La tecnología transferida debe ser evaluada no solo por su letalidad o eficiencia operativa, sino por su huella ambiental. Esto impulsa la demanda de logística verde, energías renovables y materiales biodegradables.
- Condiciones climáticas: El cambio climático se reconoce como un multiplicador de amenazas que exige nuevas transferencias tecnológicas en áreas como la gestión de recursos hídricos, alerta temprana de desastres, vigilancia de ecosistemas sensibles y acción integral del estado.
- Bioconvergencia: La transferencia tecnológica mediante la biotecnología aplicada se convierte en un campo prioritario de transferencia tecnológica para mejorar la resiliencia del soldado y la sostenibilidad de las operaciones.

Este enfoque permite que el Ejército Nacional de Colombia actúe como un motor de innovación para la economía verde del país, transformando la obligación de proteger el medio ambiente en una oportunidad para adquirir soberanía tecnológica en sectores emergente.

Figura 3. Modelo de quintuple hélice en innovación.

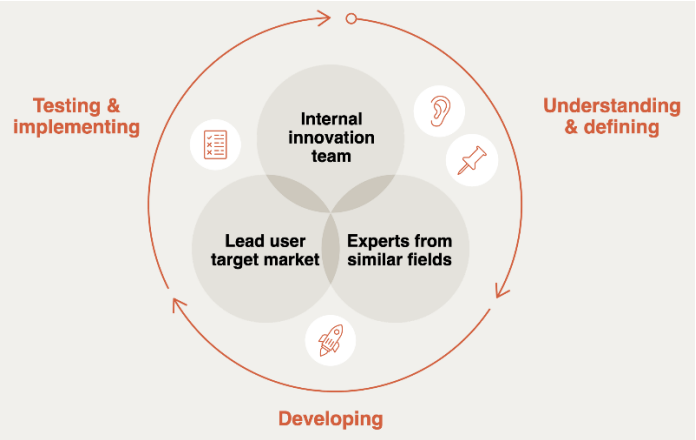


Fuente: Adaptado por la autora a partir de (Díaz, Gleason, & García, 2024)

Teoría de la Innovación de Usuario.

La teoría de la Innovación de Usuario, desarrollada extensamente por Eric von Hippel, es fundamental para entender el potencial latente del Ejército Nacional de Colombia JC. Von Hippel argumenta que los usuarios que enfrentan necesidades extremas o no satisfechas por el mercado lo que se conoce como Lead Users son a menudo los desarrolladores de las innovaciones más funcionalmente novedosas.

Figura 4. Concepción del Lead User.

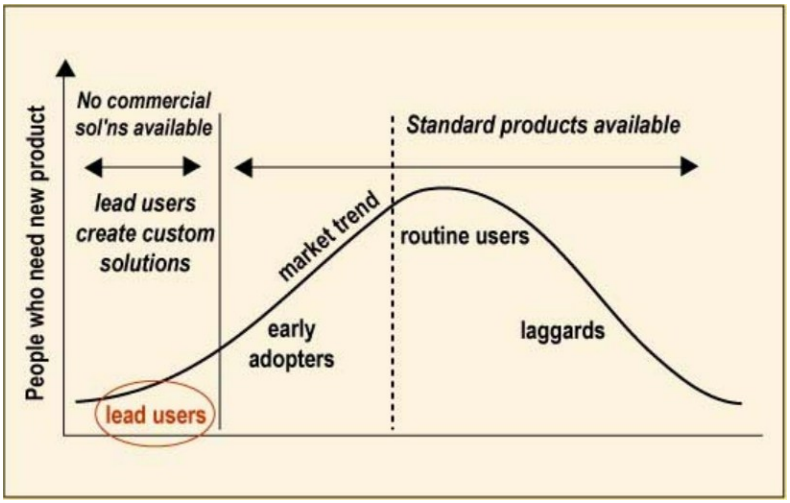


Fuente: *(Lead Innovation,2025)*

En el contexto militar, el "Lead User" es el soldado, marino o aviador desplegado en una zona de orden público, enfrentando condiciones geográficas y amenazas que los equipos de innovación dentro de un ambiente controlado o laboratorio no pueden replicar ni modelar completamente. La literatura evidencia que muchas de las innovaciones tácticas más efectivas que parten de modificaciones a vehículos blindados hasta software de mapeo táctico surgieron de adaptaciones hechas por soldados en el campo, no de programas de adquisición formales. Un modelo de transferencia tecnológica para el EJC debe, por lo tanto, institucionalizar canales para capturar y validar estas innovaciones de usuario, transformando al soldado de un receptor pasivo de tecnología a un agente activo de innovación. Esto se explica

de mejor manera en la siguiente imagen, donde se evidencia el mercado desatendido por el mercado tradicional dentro del proceso productivo.

Figura 5. Ciclo de adaptación tecnológico.



Fuente: *(Hippel. E., 2004)*.

Dentro del contexto militar este aspecto toma relevancia toda vez que, las amenazas presentadas en el teatro de operacional se modifican con el desarrollo tecnológico desarrollando una brecha de desatención que crece a medida que la velocidad de respuesta es lenta.

Innovación Abierta y Dualidad Tecnológica

El concepto de Innovación Abierta postula que las organizaciones deben utilizar flujos de conocimiento externos e internos para acelerar la innovación. Para la seguridad y defensa nacional, esto se traduce en el Spin-in que hace referencia a la adaptación de tecnologías comerciales civiles para uso militar y el Spin-off como la comercialización de desarrollos militares para el mercado civil. Las tecnologías de uso dual son la piedra angular de este enfoque, permitiendo compartir costos de desarrollo con el sector civil apalancados por empresas del Grupo social y empresarial del sector defensa – GSED en una primera medida.

Tabla 3. Comparación de Modelos de Hélice e innovación en Seguridad y Defensa

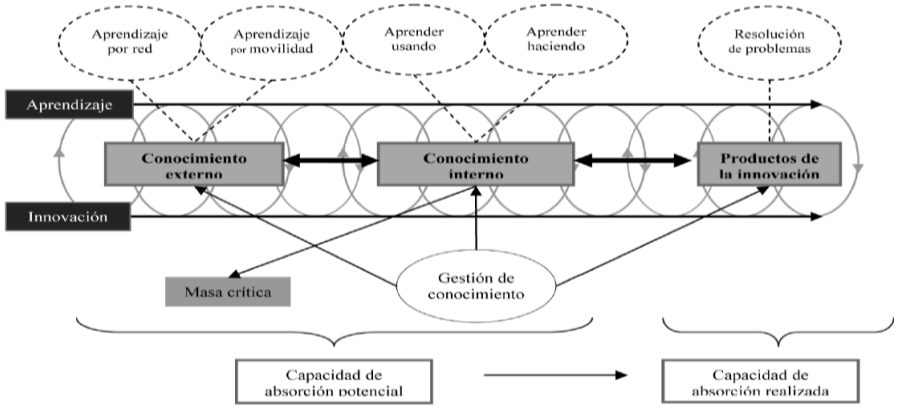
Característica	Triple Hélice	Cuádruple Hélice	Quíntuple Hélice
Actores Principales	Universidad Instituciones Gobierno	Universidad Instituciones Gobierno + Sociedad Civil	Universidad Instituciones Gobierno + Sociedad Civil + Medio Ambiente
Enfoque de Transferencia tecnológica	Capitalización de conocimiento	Innovación social y de usuario	Innovación socio-ecológica
Rol del Usuario Soldado	Sujeto pasivo (receptor)	Co-creador (Lead User)	Gestor de recursos y resiliencia
Driver Estratégico	Competitividad industrial	Legitimidad y pertinencia táctica.	Sostenibilidad, seguridad humana y ambiental
Relevancia EJC	Alta (Base industrial)	Crítica (Aceptación operativa)	Emergente (Soberanía y ODS)

Fuente: *Autora*

Capacidad de Absorción y Transferencia de Conocimiento

La Capacidad de Absorción (Cohen & Levinthal, 1990) se define como la habilidad de una organización para reconocer el valor de la información nueva, asimilarla y aplicarla a fines comerciales o, en este caso, dentro del ejercicio operacional. Para el Ejército Nacional de Colombia implica que no basta con tener acceso a tecnología avanzada; la institución debe poseer una base de conocimiento previo que le permita entender y explotar esa tecnología.

Figura 6. Capacidad de absorción, aprendizaje e innovación.



Fuente: (Castro, Rocca, & Ibarra, 2009)

La revisión indica que la capacidad de absorción tanto potencial como realizada se supedita en las fuerzas militares críticamente a dos factores:

- Capital Humano: La formación técnica y científica de los oficiales, suboficiales y soldados, anudada a la falta de alfabetización digital o formación STEM que puede actuar como una barrera que limita la transferencia tecnológica.
- Interfaces Organizacionales: La existencia de unidades o roles específicos a través de oficiales de enlace y centros de prueba encargados de traducir el lenguaje científico al lenguaje operacional y viceversa.
- Gestión del conocimiento: No se cuenta con un esquema que permita recopilar la información y datos para convertirlos en un activo de conocimiento que permita escalar las soluciones proyectadas.

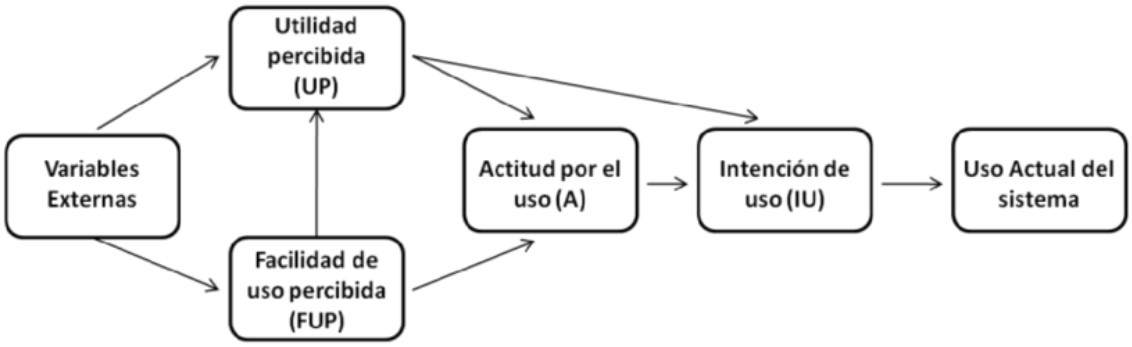
Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM)

Este es un de los marcos más utilizado para predecir la adopción de sistemas de información y tecnología. Postula que la intención de uso está determinada por dos variables independientes principales (Davis, 1989).

- **Utilidad Percibida (Perceived Usefulness - PU):** La creencia subjetiva del usuario de que la tecnología mejorará su rendimiento laboral, esto se traduce para actividades militares en letalidad, supervivencia, conciencia situacional, velocidad y efectividad en la decisión. Si el soldado, marino o aviador no percibe que el dispositivo aumenta sus probabilidades de cumplir la misión y sobrevivir, la tecnología será descartada.
- **Facilidad de Uso Percibida (Perceived Ease of Use - PEOU):** El grado en que el uso del sistema se percibe como libre de esfuerzo físico y mental. En situaciones donde el estrés es extremo y la carga cognitiva es máxima, la facilidad de uso se convierte en un factor de supervivencia. Tecnologías

complejas que requieren menús extensos o configuraciones delicadas fallan en la usabilidad.

Figura 7. Modelo de utilidad tecnológica.



Fuente: (Davis, 1989).

Estudios aplicados en la Armada de EE. UU. y otros contextos de defensa han validado el TAM, demostrando que mientras la Utilidad Percibida es el predictor más fuerte de la intención de uso en entornos de oficina, la Facilidad de Uso y la compatibilidad con el equipo existente son determinantes en entornos desplegados. Del mismo modo se requiere que la organización desarrolle un estudio, análisis y comprensión de las circunstancias por medio de las cuales las empresas obtienen ventajas competitivas sostenibles en entornos competitivos y de rápidos cambios. (Teece & Pisano, 1997).

Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología (UTAUT)

El modelo UTAUT refina el modelo de aceptación tecnológica TAM al incorporar variables moderadoras y constructos adicionales que son particularmente relevantes para organizaciones con alto componente de gobernanza basado en la jerarquía que ocurre en las organizaciones castrenses como el ejército. Este modelo consolidado explica por qué los usuarios adoptan un sistema de información y cómo se comportan frente a él. Fue propuesta por Venkatesh et al. en 2003,

logrando unificar ocho teorías previas, así como el modelo TAM referido anteriormente donde se logra una capacidad predictiva de hasta el 70% sobre la intención de uso, lo que permite establecer dos pilares que predicen el uso de una tecnología.

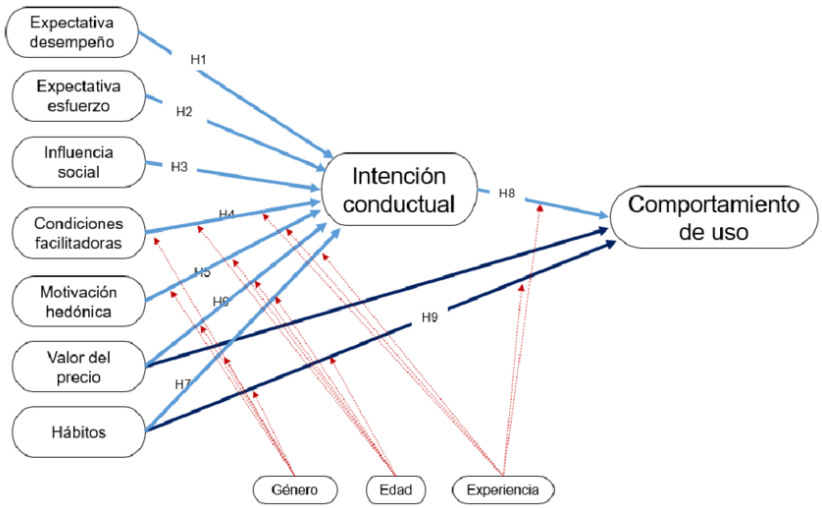
- Influencia Social: En el mundo civil, esto se refiere a la opinión de pares. Mientras que para el Ejército Nacional se refiere a la Cadena de Mando, en este ambiente la adopción tecnológica es a menudo mandatoria, no voluntaria. Sin embargo, la aceptación real referida como el uso efectivo vs. uso ritualista depende de si los líderes operacionales comandantes de pelotón o compañía valoran y promueven la tecnología. Si el comandante no confía en el sistema o la solución provista, la tropa tampoco lo hará.
- Condiciones Facilitadoras: La percepción de que existe la infraestructura técnica y organizacional para soportar el uso del sistema. Esto es crítico en Colombia, donde las operaciones se realizan en condiciones geográficas adversas que incluyen selva, montaña y conectividad limitada. Un modelo de transferencia debe asegurar no solo la entrega del equipo, sino la red de soporte logístico baterías, repuestos, mesa de ayuda que permita brindar un entorno confiable para el uso de la solución.

Adicional a los pilares mencionados anteriormente, se incluye un criterio de subjetividad que influye directamente en la intención de comportamiento y el uso real:

- Expectativa de Desempeño: El grado en que un usuario cree que la tecnología mejorará su rendimiento laboral o personal.
- Expectativa de Esfuerzo: La percepción sobre qué tan fácil o difícil será utilizar el sistema.

Esto permite mapear el conjunto de variables que incide en la aceptación, uso y capacidad de replica de la tecnología como se muestra en la siguiente figura.

Figura 8. Teoría unificada de aceptación y uso de tecnología.



Fuente: (Romero-Sánchez & Barrios, 2023)

Confianza en la Tecnología y Automatización.

Dentro del ejercicio estratégico y operacional al incluir una integración de tecnologías exponenciales como Inteligencia Artificial y sistemas autónomos en defensa destaca la Confianza como una variable mediadora central. La confianza en la automatización se define como la actitud de que un agente (la máquina) ayudará a lograr una meta individual en una situación caracterizada por incertidumbre y vulnerabilidad.

En el contexto militar, la confianza se disipa rápidamente si el sistema falla o se comporta de manera impredecible lo que no solo influye en la generación de costos hundidos derivadas de tecnología con baja tasa de uso o que lleva a la subutilización el soldado ignora la información proveniente del sistema o, inversamente, el exceso de confianza lleva a la complacencia y/o dependencia el soldado deja de verificar el

entorno como lo refiere el Jefe del Departamento de doctrina conjunta aunado a la disminución de la moral combativa en la tropa al sentirse sobrepasado por el enemigo en capacidades de respuesta ante amenazas híbridas.

Figura 9. Factores que inciden en la confianza del uso de la tecnología.



Fuente: *Autora a partir de* (Rubinato, 2025) *y* (Montag, Kraus, Baumann, & Rozgonjuk, 2023)

Métricas de Madurez Tecnológica y Operacional

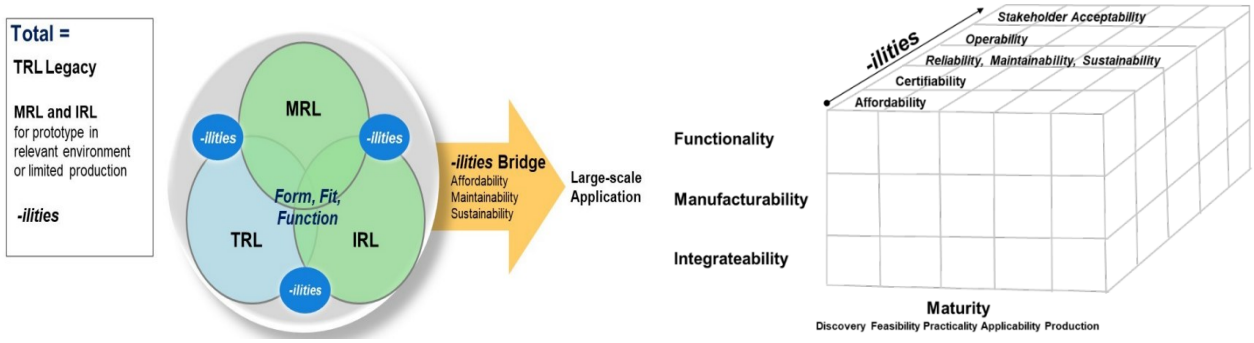
Para gestionar la transferencia, es imperativo medir el progreso. El estándar global ha sido el Technology Readiness Level (TRL), desarrollado por la NASA. Sin embargo, la revisión documental indica que el TRL es insuficiente para el contexto de defensa complejo, ya que solo mide la madurez de un componente aislado y no el impacto que esta tecnología puede tener en un sistema de defensa y seguridad. Particularmente, un componente o dispositivo estar en TRL 9 en un contexto, pero fallar en otro debido a problemas de integración, doctrina o uso. Es decir, un sensor desarrollado por una Escuela de formación puede funcionar perfectamente en pruebas controladas o de laboratorio, pero ser incompatible con los radios tácticos

del Ejército Nacional de Colombia o requerir un ancho de banda que no existe en el área de operaciones.

Siendo así, se requiere considerar otras medidas como el Nivel de Madurez de Integración (IRL) que se centra en la medición de la madurez de las interfaces y la interacción entre tecnologías. Es una métrica de 1 a 9 que evalúa desde la descripción de la interfaz o el modelo conceptual de la misma (IRL 1) hasta la integración probada en un ambiente operacional (IRL 9). Esto cobra sentido para el EJC toda vez que su ambiente opera una mezcla heterogénea de sistemas legados y modernos, el riesgo de fallo por integración es alto. El modelo propuesto debe exigir evaluaciones de IRL antes de autorizar el paso de la investigación al desarrollo.

Considerando lo anterior, es factible integrar una medición a partir del Nivel de Madurez del Sistema (SRL) es una métrica compuesta que funciona como una función matemática de los TRL de los componentes individuales y los IRL de sus conexiones e interfases dentro de un sistema, debido a que proporciona una visión holística del estado de madurez de un sistema de sistemas (SoS), permitiendo a los gerentes de proyecto identificar cuellos de botella específicos.

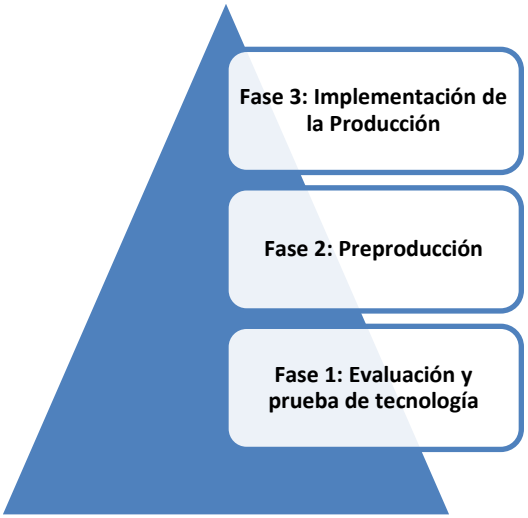
Figura 10. Integración de modelos de madurez TRL, IRL y MRL.



Fuente: *Autora a partir de* (Yu, Wahls, Esker, & Otros, 2021)

Finalmente, podemos establecer que más allá del componente ingenieril se requiere la medición del Nivel de Madurez de Innovación o en términos de los establecido por la NASA el *Manufacturing Readiness Level* evalúa la preparación de la organización y el mercado (o usuario) para adoptar la innovación. Considera factores como la capacidad de entrenamiento, la sostenibilidad logística y la aceptación cultural.

Figura 11. Modelo de madurez de manufactura NASA.



Fase	MRL	Estado de Desarrollo
Implementación de la Producción	9	Proceso de producción completo calificado para toda la gama de piezas y métricas completas alcanzadas.
	8	Proceso de producción completo calificado para toda la gama de piezas.
	7	Capacidad y ritmo de producción confirmados.
Preproducción	6	Proceso optimizado para el ritmo de producción en equipos de producción.
	5	Capacidad básica demostrada.
	4	Producción validada en entorno de laboratorio.
Evaluación y prueba de tecnología	3	Prueba de concepto experimental completada.
	2	Aplicación y validez del concepto validadas o demostradas.
	1	Concepto propuesto con validación científica.

Fuente: *Autora a partir de* (Yu, Wahls, Esker, & Otros, 2021)

Conforme a lo anterior, es importante establecer una distinción entre los modelos de madurez y su aplicación en las fuerzas militares

Tabla 4. Comparación de Niveles de Madurez para el Contexto Militar.

Nivel	TRL (Tecnología)	IRL (Integración)	MRL (InnRL) (Innovación/Organización)
Bajo (1-3)	Principios básicos observados y reportados.	Interfaz identificada; compatibilidad teórica.	Necesidad identificada; concepto validado por usuario.

Nivel	TRL (Tecnología)	IRL (Integración)	MRL (InnRL) (Innovación/Organización)
Medio (4-6)	Componente validado en laboratorio, bajo control o entorno relevante.	Interfaz verificada en laboratorio; control de flujo de datos.	Prototipo probado por usuarios piloto; modelo de soporte definido.
Alto (7-9)	Sistema probado en entorno operativo real.	Integración certificada en despliegue operativo; interoperabilidad total.	Solución escalada; doctrina y entrenamiento actualizados; adopción masiva.

Fuente: *Elaboración propia basada en* (Sauser & Otros, 2008) *y documentos de defensa de EE. UU.*

Variables que inciden de la Transferencia Tecnológica en el Ejercito Nacional.

El logro en la consolidación de los procesos de transferencia tecnológica en el Ejército Nacional es el resultado de una interacción sistémica entre el factor humano, el marco doctrinal y la madurez técnica, por lo cual se extraen las variables que inciden en su efectividad, a continuación, se describen, tipifican y definen las métricas para las variables identificadas.

Cualificación del Talento Humano.

Esta variable mide la capacidad cognitiva y técnica de los actores que originan y reciben la tecnología para este caso particular Investigadores al interior de las escuelas y centros de formación y los usuarios dentro del teatro de operaciones. Según la teoría de la Capacidad de Absorción, la formación previa es el determinante del éxito.

- Descripción de la variable: Incluye el nivel académico formal y no formal orientado a la formación en componentes STEM de los investigadores en las escuelas de formación y la alfabetización digital de los soldados usuarios. Esto puede describirse en términos de competencias de acuerdo con el marco UNESCO describe 15 competencias que atraviesan cinco dimensiones (UNESCO, 2026) en las que se incluyen:

- Forma de pensar centrada en el ser humano
- Ética de la IA
- Fundamentos y aplicaciones de la IA
- Pedagogía de la IA
- IA para el aprendizaje profesional.

Adicional se incorpora la contextualización del marco de competencias en materia de TIC para los maestros (ICT-CFT) y lo establecido en términos de competencias digitales para el siglo XXI donde se enfatiza que para construir conocimientos en cualquier campo del saber, las personas necesitan competencias fundamentales, basadas en el pensamiento crítico, en la capacidad para analizar, evaluar, argumentar, decidir y comunicar (UNESCO, 2022) (UNESCO, 2021)

- Tipificación de la variable: Mixta.
    - Cuantitativa: % de investigadores con doctorado/maestría, # de horas de capacitación técnica por usuario.
    - Cualitativa: Índice de competencias blandas y digitales lista de verificación.

Alineación Doctrinal, Directivas y Lineamientos.

Representa la coherencia del proyecto de transferencia tecnológica en cualquiera de sus fases de desarrollo se alinea con el marco Regulatorio Interno del Ejército Nacional de Colombia, que incluye fichas, reglamentos y manuales doctrinales.

- Descripción: Busca evaluar si la tecnología a incorporar presenta dilemas, rompe o fortalece la doctrina operativa vigente, así como la atención a los criterios establecidos desde los planes y directivas establecidas dentro del PETEF 2042 y las políticas de CTeI 2024. Un desarrollo que no esté alineado con los lineamientos del Comando General del ministerio de defensa carecerá de presupuesto y soporte legal para su despliegue.
- Tipificación: Cualitativa.
- Medición: Índice de Conformidad Doctrinal incluye un concepto de evaluación por el CEDOC y/o CEDCO junto con una matriz de articulación del cumplimiento de lineamientos estratégicos.

Madurez Tecnológica TRL

Busca determinar el nivel de evolución técnica del objeto tecnológico que será desplegada en el campo operacional, lo que consolidará un accionar para priorización de recursos y aceleramiento de prototipados conforme a las necesidades establecidas en el campo operacional.

- Descripción: Escala que permite saber si un prototipo es solo un concepto o un sistema listo para el combate.
- Tipificación: Cuantitativa.
- Medición: Escala 1 a 9 El éxito requiere un paso formal por puntos de control donde se realice una validación no solo desde las características técnicas antes de transitar de la academia a la industria sino desde la doctrina, el derecho operacional, derecho internacional de los conflictos armados, derecho internacional humanitario y propiedad intelectual.

Madurez de Integración - IRL

Evalúa la capacidad del desarrollo o tecnología dentro de un campo de operacionales en el que interviene con un conjunto de sistemas en artillería de campaña, artillería de defensa, aviación, caballería, comunicaciones, ingeniería e inteligencia e incluso dentro de una operación conjunta; lo que permite determinar su comportamiento dentro de un sistema dentro de una visión holística.

- Descripción: Capacidad de la nueva tecnología o dispositivo para integrarse a los con los sistemas C4ISR que incluyen Mando, Control, Comunicaciones, Informática, Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento ya existentes en el Ejército Nacional.
- Tipificación: Cuantitativa.
- Medición: Escala Sauser (1 a 9). Se mide mediante pruebas de interfaz de datos y protocolos de comunicaciones compartidos.

Relacionamiento, colaboración y conjuntes.

Busca identificar la capacidad del desarrollo para integrarse dentro de una red de colaboración que permita optimizar los recursos dispuestos y atender a los criterios de planeación por capacidades establecida por el comando general de las fuerzas militares y las directrices emanadas del ministerio de defensa nacional.

- Descripción: Nivel de conformación de vínculos y alianzas estratégicas para la evolución de la tecnología entre el Ejército Nacional como fuerza, las instituciones de educación superior del EJC, las Universidades Civiles y la Industria en primera instancia a las organizaciones del GSED y su potencial escalamiento a una solución dual.
- Tipificación: Cualitativa.
- Medición: Análisis de involucrados, centralidad de actores, derechos de propiedad industrial y encuestas Likert de confianza institucional.

Utilidad Operacional Percibida (TAM/UTAUT)

Mide la aceptación por parte del soldado y los comandantes en el teatro de operaciones desde una perspectiva de uso, efectividad e incremento de las capacidades de despliegue, disuasión y defensa.

- Descripción: Percepción subjetiva de que la herramienta aumenta la letalidad o la supervivencia.
- Tipificación: Cualitativa.
- Medición: Escalas de Utilidad, Facilidad de Uso e incremento de capacidades que es percibida en escenarios de prueba real o entornos simulados.

Madurez Organización para la adopción tecnológica - MRL

Evalúa la capacidad del sistema de toma de decisiones en el marco del PMTD, la doctrina y las capacidades institucionales para hacer que el desarrollo o tecnología pueda traspasar

la frontera del entorno simulado o controlado a un escenario de incertidumbre y bajo amenazas reales.

- Descripción: Capacidad del sistema para innovar, flexibilizar e incorporar la tecnología dentro de las operaciones militares desarrolladas por el Ejército Nacional.
- Tipificación: Mixta.
- Medición: Escala Likert (1 a 5) y lista de chequeo que determina la capacidad institucional y las restricciones del sistema para incorporar la tecnología.

Coeficiente de Sostenibilidad.

Permite identificar el nivel de cumplimiento de la tecnología potencial frente a los compromisos de la institución en torno a la línea base de sostenibilidad social y ambiental, que incluye el nivel de relacionamiento del actuar militar con la población civil, el territorio y las comunidades, así como el impacto y preservación de los ecosistemas.

- Descripción: Impacto ecológico y eficiencia de recursos de la tecnología, alineada con la misión de protección ambiental del EJC.
- Tipificación: Cuantitativa.
- Medición: Análisis de Ciclo de Vida (LCA) mediante el modelo de medición P5 establecido por el GPM® y el PMI®, cálculo de la huella de carbono en el proceso evolutivo del desarrollo del producto.

Matriz de Variables del modelo propuesto de Transferencia Tecnológica.

A modo de síntesis se presenta una matriz que permite resumir el conjunto de variables establecidas para la valoración del modelo de transferencia tecnológica sugerido al Ejército Nacional EJC.

Tabla 5. Matriz de variables del modelo de transferencia tecnológica propuesto.

Variable	Tipo	Descripción Técnica	Método de Medición
Cualificación Talento	Mixta	Competencias STEM y alfabetización digital de formuladores, desarrolladores y usuarios.	% de formación formal y no formal; Índice de competencias digitales (ICT-CFT).
Alineación Doctrinal	Cualitativa	Coherencia con PETEF 2042, CTeI 2024 y directivas internas.	Concepto técnico CEDOC; Lista de chequeo de cumplimiento estratégico.
Madurez Técnica (TRL)	Cuantitativa	Nivel de evolución técnica del prototipo (Concepto vs. Combate).	Escala NASA Lista de chequeo para Validación Jurídica.
Madurez Integración (IRL)	Cuantitativa	Capacidad de interoperabilidad con sistemas C4ISR del EJC.	Escala Sauser (1 a 9) mediante cumplimiento de las interfaces.
Relacionamiento	Cualitativa	Relacionamiento y densidad de actores en modelo triple hélice.	Análisis de centralidad de actores. Encuestas Likert de confianza.
Utilidad Percibida	Cualitativa	Nivel de percepción de usuarios sobre el incremento de capacidades de disuasión y/o defensa.	Escalas TAM/UTAUT aplicadas en entorno operativo controlado
Madurez Organizacional. (MRL)	Mixta	Capacidad del sistema para responder dentro de la doctrina y la operación a las características del sistema o tecnología a adoptar.	Escala Likert (1 a 5) y lista de chequeo institucional.
Sostenibilidad	Cuantitativa	Impacto sobre la línea de sostenibilidad socioambiental.	Modelo P5; Análisis del ciclo de vida para la estimación de huella de carbono.

Fuente: *Elaboración propia*

6.2 CARACTERIZACIÓN DEL MODELO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA A ADOPTAR.

La caracterización del modelo de transferencia tecnológica para las escuelas de formación militar y el Ejército Nacional se fundamenta en un enfoque sistémico que integra de manera indisoluble el capital humano, la doctrina institucional y la madurez técnica. Este marco busca asegurar que los resultados de la investigación científica no solo alcancen un nivel de desarrollo técnico óptimo, sino que se conviertan en capacidades tácticas reales mediante procesos de asimilación y adaptación local. Para ello, es imperativo que el modelo mantenga una coherencia estricta con las variables de cualificación profesional y alineación estratégica identificadas previamente, permitiendo que la innovación sea tácticamente relevante y cumpla con los estándares de interoperabilidad requeridos en el entorno operativo.

Asimismo, el modelo adopta el modelo de la Cuádruple Hélice al situar al soldado en el centro del ecosistema de innovación como un usuario líder, cuya experiencia en el terreno valida la utilidad y facilidad de uso de las herramientas digitales y tecnológicas. Esta estructura permite canalizar flujos de conocimiento externos, provenientes de universidades y empresas del sector defensa, mediante mecanismos de compensación industrial y social, garantizando la soberanía tecnológica y la sostenibilidad de los proyectos a largo plazo. De esta forma, el modelo propuesto se constituye como un motor de transformación digital que trasciende de la adquisición de equipos para enfocarse en la generación de valor estratégico para la seguridad y la defensa.

Instrumentos de política pública y directivas sectoriales a considerar.

La implementación del modelo propuesto se sustenta en un andamiaje documental, normativo y jurídico que escala desde la política nacional hasta la normativa técnica de la fuerza, que incluye resoluciones del ministerio de defensa, ministerio de educación, ministerio de ciencia y tecnología, así como regulaciones y normativas internas establecidas por parte del comando general de fuerzas militares y el Ejercito Nacional sobre las cuales se tienen que establecer los criterios a adoptar por parte de la fuerza.

Tabla 6. Matriz de instrumentos normativos a evaluar dentro de las características del modelo propuesto.

Origen	Documento	Impacto en el modelo de transferencia tecnológica
Política Nacional (CONPES)	CONPES 3975 (2019)	Establece la Política Nacional para la Transformación Digital e IA; catalizador de valor público en el sector seguridad.
Política Nacional (CONPES)	CONPES 4069 (2021)	Política Nacional de CTeI 2022-2031; prioriza la inversión en I+D y la transferencia de conocimiento diferencial.
Política Nacional (CONPES)	CONPES 4144 (2024)	Política Nacional de IA; provee marco ético y financiamiento para el desarrollo de tecnologías de defensa basadas en datos.
Ministerio de Defensa	Directiva 08 (2016)	Lineamientos para la coordinación de actividades de CTeI entre las Fuerzas Militares y la Policía Nacional.
Ministerio de Defensa	Resolución 1767 (2025)	Política Sectorial de Compensaciones Industriales (Offset); obliga a la transferencia tecnológica (mín. 10%) en compras estratégicas.
Ministerio de Defensa	PETI Sectorial 2023-26	Define los pilares de infraestructura unificada en la nube, ciberseguridad y servicios ciudadanos digitales.
MinCiencias	Guía de Transferencia (2022)	Marco metodológico nacional para la negociación, protección y asimilación de resultados de investigación.
MinTIC	Manual Gobierno Digital	Estandariza el uso de TIC en el Estado bajo criterios de seguridad de la información y arquitectura empresarial.
Comando General	MFC 5-0 / MFC 3-0 (2024)	Doctrina de Planeamiento y Operaciones; asegura que la tecnología sea tácticamente relevante en entornos multidominio.
Ejército Nacional	PETEF 2042	Visión del "Ejército del Futuro"; proyecta la inclusión de tecnologías emergentes en la organización terrestre.
Ejército Nacional	Directiva 027 (2019)	Lineamientos para la protección de la propiedad intelectual de las invenciones desarrolladas por el personal militar.
Referente OTAN	Estrategia S&T 2023-30	Guía de ciencia y tecnología para mantener la ventaja competitiva mediante interoperabilidad y demostraciones técnicas.

Referente OTAN	Data Strategy (2025)	Marco de gobernanza de datos compartidos para facilitar la toma de decisiones basada en evidencia entre aliados.
EE. UU. (US Army)	T2 Program Overview	Manual de transferencia tecnológica del Ejército de EE. UU.; mecanismo de licencias de patentes para usos duales.
España (EECTI)	Estrategia CTeI 2021-27	Referente de integración industrial y fomento de la soberanía tecnológica en el sector defensa.

Fuente: *Elaboración propia*

Para que el modelo de transferencia tecnológica propuesto sea viable y armónico con la legalidad vigente, se deben observar puntualmente las siguientes especificaciones derivadas de los instrumentos y documentos de referencia

Marco de Política Nacional y Ciencia (CONPES y MinCiencias)

- **Características por considerar:** El modelo debe priorizar la generación de valor público y el cierre de brechas de productividad mediante la adopción de tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial. La transferencia debe tener un enfoque diferencial y territorial, asegurando que el conocimiento llegue a las regiones más apartadas.

- **Restricciones:** Se deben observar estrictamente los principios éticos y de gobernanza de datos, especialmente en sistemas basados en Inteligencia Artificial, garantizando el respeto a los derechos fundamentales y la privacidad. Las inversiones deben estar condicionadas a la viabilidad financiera y factibilidad comercial.

- **Limitaciones:** La inversión nacional en I+D+i proyecta alcanzar el 1% del PIB apenas para el año 2031, lo que impone techos presupuestales a corto plazo para proyectos de gran envergadura.

Compensaciones Industriales (Resolución 1767 / Offset)

- **Características por considerar:** Toda adquisición extranjera de material de defensa debe incluir obligatoriamente proyectos de transferencia de tecnología y conocimiento. El modelo debe capturar capacidades que no están disponibles comercialmente por su naturaleza bélica.

- **Restricciones:** Existe una restricción legal absoluta sobre proyectos de cierta naturaleza, la transferencia para líneas de producción de munición debe recaer exclusivamente en INDUMIL, y los sistemas de inteligencia deben permanecer bajo control directo del Ministerio de Defensa. Se exige un porcentaje mínimo de transferencia del 10% hacia la industria local y actores del Sistema Nacional de CTeI.

- **Limitaciones:** Se evidencia un umbral económico para la aplicabilidad de cláusulas obligatorias para la adquisición de componentes superior a USD $3 millones y compromisos administrativos de larga duración hasta 10 años que pueden limitar la gestión si no se seleccionan proveedores con visión de largo plazo.

Coordinación Sectorial y Propiedad Intelectual (Directivas 08 y 027)

- **Características por considerar:** El talento humano es la prioridad estratégica para la consolidación de capacidades. La propiedad intelectual debe ser gestionada como una herramienta de sostenibilidad financiera mediante licencias y explotación de activos.

- **Restricciones:** Todo proyecto de investigación en el sector debe contar con el acompañamiento directo y explícito de una de las fuerzas militares para garantizar su pertinencia táctica.

- **Limitaciones:** Persiste una fragmentación histórica en los esfuerzos de I+D+i y una resistencia cultural al cambio debido a debilidades en alfabetización digital.

Referentes Internacionales y Doctrina (OTAN, EE. UU., España)

- **Características por considerar:** La interoperabilidad debe ser un criterio de diseño desde la fase conceptual del proyecto. Se recomienda el uso de demostraciones técnicas para reducir el tiempo entre la investigación y la entrega de capacidades.

- **Restricciones:** El modelo debe incluir controles rigurosos contra el robo, desvío o explotación de tecnologías sensibles por parte de competidores estratégicos e inclusive grupos armados organizados y organizaciones terroristas. Es obligatorio el cumplimiento del Derecho Internacional Humanitario y Derecho internacional de los conflictos armados en el desarrollo de tecnologías autónomas.

- **Limitaciones:** Se enfrentan disparidades significativas en el acceso a tecnologías de punta entre aliados, lo que puede generar riesgos de limitación en la transferencia de conocimiento que obstaculicen una fluidez en el proceso.

Áreas de conocimiento y Líneas de investigación.

Considerando que la transferencia tecnológica en el Ejército Nacional de Colombia se operativiza a través del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, el cual clasifica la producción científica y el desarrollo de innovación en áreas del saber alineadas con los estándares de la OCDE y las misiones de seguridad nacional. Estas áreas no solo permiten organizar el conocimiento académico, sino que actúan como dominios prioritarios para la asimilación de tecnologías disruptivas y el fortalecimiento de la soberanía nacional.

Áreas de desarrollo consideradas dentro del modelo.

De acuerdo con la Resolución 1192 de 2010 y los marcos de gestión de la Dirección de Ciencia y Tecnología, el SCTi se articula en diez áreas fundamentales que guían el esfuerzo de investigación aplicado al ejercicio operacional, las actividades de acción integral y de bienestar institucional.

Tabla 7. Áreas de conocimiento a desarrollar con el modelo.

Área de Conocimiento	Enfoque de Transferencia e Innovación
Armamento y Munición	Desarrollo de sistemas de armas inteligentes, munición de largo alcance y nuevas tecnologías de propulsión balística.
Sistemas Aeronáuticos	Integración de aeronaves no tripuladas, aviónica avanzada y modelos de mantenimiento predictivo para la aviación militar.
Ciberespacio	Herramientas de ciberdefensa, ciberseguridad, protección de infraestructuras críticas y guerra de la información.
Navegación y Comunicaciones	Sistemas de información geográfica (GIS), redes de comunicaciones seguras, encriptación y redes 5G/6G tácticas.
Sistemas de Vehículos Terrestres	Diseño de blindajes, vehículos autónomos de combate y sistemas de tracción para geografías complejas.
Sistema Naval	Tecnologías de vigilancia costera, sistemas antisubmarinos y de protección de recursos marinos.
Sistema Espacial	Satélites de vigilancia orbital, meteorología táctica y posicionamiento autónomo soberano.
Modelamiento y Simulación	Creación de laboratorios de guerra experimental y plataformas de realidad virtual para el entrenamiento de mandos tácticos.
Sensores y Sistemas Optrónicos	Radares aerotransportados, visores nocturnos de alta resolución y sensores de inteligencia de señales.
Automatización y Robótica	Robots para el desminado humanitario, logística automatizada y sistemas autónomos letales con control ético.

Fuente: *Elaboración propia*

Ejes temáticos por articular con las líneas de investigación.

Para facilitar la transferencia tecnológica, la Escuela Superior de Guerra – ESDEG y demás escuelas de formación ESMIC, EMSUB, ESART, ESACE, ESINF se han definido 5 ejes temáticos que integran el desarrollo técnico con la formación superior de oficiales, suboficiales y soldados profesionales de la siguiente manera:

- Estrategia, Defensa y Seguridad Nacional e Internacional: Esta línea posee una importancia estratégica vital al permitir el análisis de amenazas híbridas y la prospectiva del entorno operacional multidominio, asegurando que la fuerza pueda anticiparse a riesgos globales cambiantes. Los temas por desarrollar incluyen la geopolítica de la seguridad, defensa cibernética, cooperación internacional en defensa y el estudio de sistemas criminales transnacionales para el diseño de estrategias de mitigación.

- Educación y Liderazgo Militar: Su relevancia reside en el fortalecimiento del talento humano como el centro de gravedad institucional, buscando formar líderes capaces de gestionar la transformación digital bajo marcos éticos y principios pedagógicos modernos. Se enfoca en el desarrollo de competencias digitales para el siglo XXI, el uso de Inteligencia Artificial para el aprendizaje profesional y modelos de liderazgo transformacional adaptados a la Cuarta Revolución Industrial.

- Derecho y Construcción de Paz: Garantiza la legitimidad de las operaciones y la coherencia del actuar militar con los estándares internacionales, siendo un pilar para la estabilidad del Estado-Nación. Desarrolla temáticas relacionadas con el Derecho Internacional Humanitario, justicia transicional, protección de poblaciones vulnerables y la participación de la fuerza pública en procesos de consolidación territorial y verdad.

- Arte Operacional y Práctica de la Guerra: Provee los fundamentos teóricos para el planeamiento conjunto y la conducción de operaciones que permitan alcanzar objetivos estratégicos en escenarios de alta incertidumbre. Se centra en el planeamiento conjunto (MFC 5-0), doctrina de operaciones unificadas, simulación de conflictos asimétricos y el análisis de lecciones aprendidas en el teatro de operaciones real.

- Tecnología e Innovación en Defensa: Actúa como el motor del modelo de transferencia tecnológica, buscando cerrar la brecha entre la investigación académica y la entrega de capacidades tácticas utilizables en el terreno. Incluye el estudio de tecnologías exponenciales, gestión de compensaciones industriales,

innovación dual y procesos de prototipado ágil para resolver retos específicos de seguridad nacional. Modernización Militar: Es fundamental para la visión del "Ejército del Futuro" (PETEF 2042), centrada en mejorar la competitividad y eficacia operativa mediante la reingeniería de procesos y la actualización de capacidades organizacionales. Los temas clave abarcan la arquitectura empresarial, dirección de proyectos de base tecnológica, gestión de la interoperabilidad cognitiva y el mantenimiento predictivo de plataformas de combate.

Procedimiento para la integración.

El procedimiento para la integración de resultados de investigación científica y ciencia aplicada en el Ejército Nacional se estructura como una ruta crítica detallada que asegura el tránsito efectivo del conocimiento desde las escuelas de formación hasta las unidades tácticas. Este proceso se divide en cuatro componentes, cada uno con actividades específicas, productos entregables y responsabilidades institucionales claras.

Tabla 8. Componentes y actividades del procedimiento.

Fase	Actividades	Entregable	Responsable
Identificación y Acompañamiento Estratégico	Diagnóstico de necesidades tácticas en unidades de combate. Formulación y estructuración de proyectos. Registro de investigadores y proyectos en CvLAC y GrupLAC. Valoración del nivel de invención y potencial de aplicación.	Proyecto avalado con registro CvLAC/GrupLAC y ficha de pertinencia táctica.	Líder del Grupo de Investigación / CEDOC/CDJ7
Maduración Tecnológica y Elevación del TRL	Desarrollo de prototipos no comercializables (TRL 4 a 6). Ejecución de pruebas en laboratorios y ambientes simulados controlados. Evaluación periódica de madurez de integración (IRL).	Reporte técnico de avance TRL y certificado de madurez de integración (IRL).	COATE / CODALTEC
Validación Doctrinal y Control Jurídico	Revisión de cumplimiento de manuales MFC 5-0 (Planeamiento) y 3-0 (Operaciones).	Concepto de conformidad doctrinal, dictamen legal y certificados de propiedad industrial.	CEDCO (Centro de Doctrina Conjunta) / COATE/ CDJ7

	Cumplimiento Juridico y propiedad intelectual Auditoría de cumplimiento ético. Revisión de Derechos Humanos, Derecho internacional humanitario y Derecho Internacional de los conflictos armados Registro de patentes e invenciones ante la SIC y DNDA.		
Operativización y Transferencia al Usuario Final	Despliegue de capacidades en el teatro de operaciones para validación por el usuario líder. Implementación de acuerdos de compensación industrial (Offset) para mantenimiento local. Sistematización de lecciones aprendidas.	Acta de recepción operacional por la unidad táctica y reporte final de lecciones aprendidas.	Comandante de Unidad Táctica / Comité de Compensaciones

Fuente: *Elaboración propia*

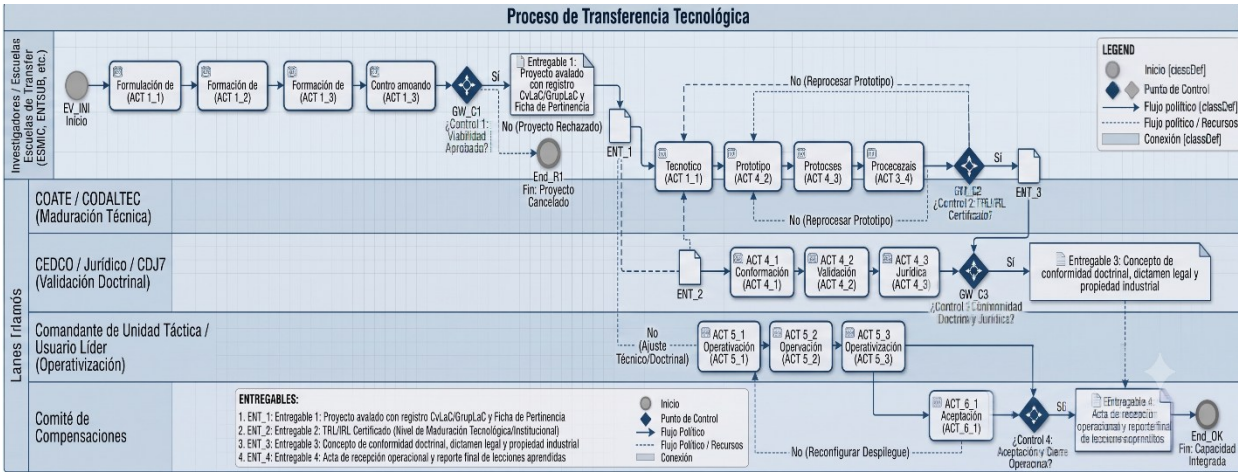
Puntos de control del modelo.

Los controles del procedimiento se aplican en cuatro hitos para asegurar la viabilidad técnica y legal del proceso de transferencia de los resultados de los proyectos investigación.

- Al finalizar la fase de Identificación por parte del CEDOC y el CDJ7; consiste en emitir el aval institucional tras verificar que la propuesta responde a una necesidad táctica real.
- El segundo control ocurre durante la fase de Maduración a cargo del COATE, mediante la certificación de los niveles de madurez técnica (TRL) e integración (IRL), lo cual autoriza el tránsito del laboratorio al campo de pruebas.
- El tercer control se ejecuta en la fase de Validación por el CEDCO y asesores jurídicos del CDJ7; consiste en la revisión de los manuales de doctrina (MFC 5-0 y 3-0), el cumplimiento de normas de Derechos Humanos y el registro de la propiedad intelectual ante las autoridades nacionales.
- Finalmente, lo realiza el Comandante de la Unidad Táctica en la fase de Operativización; consiste en la validación de la utilidad técnica en el terreno y la

suscripción del acta de recepción para el cierre de los compromisos de compensación industrial.

Figura 12. Diagrama de proceso de modelo de transferencia propuesto.



Fuente: *Elaboración propia*

6.3 ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN Y CAPACITACIÓN SOBRE EL MODELO.

Diagnóstico de la Capacidad de Absorción y Mapa de Actores de las Escuelas de Formación.

La identificación de la línea de base para evaluar la aptitud del capital humano e institucional en la asimilación y aplicación de nuevos conocimientos científicos y tecnológicos requiere un mapeo preliminar. Este análisis abarca de manera integral a las escuelas de formación, capacitación, instrucción y entrenamiento que componen el subsistema de educación del Ejército Nacional de Colombia. Dicho subsistema se coordina bajo la estructura del Comando de Educación y Doctrina (CEDOC), el Departamento de Educación Militar (CEDE7), la Dirección de Ciencia y Tecnología (DITEC) y el Comando de Apoyo Tecnológico (COATE).

De acuerdo con la teoría de la capacidad de absorción formulada por Cohen y Levinthal (1990), la facultad de una organización para valorar, asimilar y aplicar el conocimiento de uso táctico depende de su nivel de conocimiento previo y de la formación técnica y científica de su capital humano. En las instituciones de educación superior militar de Colombia, se identifican brechas en las competencias técnicas de las áreas en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) y en alfabetización digital. Los estudios de diagnóstico indican que el 54% del personal militar presenta necesidades en formación digital. Esta limitación obstaculiza la capacidad de absorción potencial (adquisición y asimilación de tecnología) y restringe la capacidad de absorción realizada (transformación y explotación del conocimiento), lo que dificulta que la producción científica se traduzca sistemáticamente en soluciones operacionales en el terreno.

Para estructurar la asimilación del conocimiento, el modelo se articula con el ecosistema de investigación de las escuelas de formación militar del Ejército Nacional. Este subsistema está integrado por los grupos y centros de investigación que orientan la investigación formal y formativa en las distintas fuerzas, distribuidos de la siguiente manera:

Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova" (ESMIC)

La ESMIC profesionaliza a los oficiales de la fuerza terrestre y dispone de tres grupos de investigación registrados y categorizados ante Minciencias:

- Grupo Ciencias Militares (Código COL0082556 - Categoría B): Investiga en líneas asociadas al derecho operacional, desarrollo de procesos de seguridad, logística militar y civil, y direccionamiento de talento humano.

- Grupo de Rendimiento Físico Militar - RENFIMIL (Código COL0080809 - Categoría B): Focalizado en el estudio de la medicina militar, la biomecánica y la sanidad aplicada a mejorar el rendimiento operacional del soldado en el terreno.

- Grupo de Investigación en Ingeniería y Simulación - GINSI (Código COL0171262 - Categoría C): Centrado en el mejoramiento de tecnologías civiles y militares, procesos de ingeniería y diseño de sistemas avanzados de simulación virtual. Dispone además del Centro de Investigación y Desarrollo en Simulación (CIDSI).

Escuela Militar de Suboficiales "Sargento Inocencio Chincá" (EMSUB)

La EMSUB capacita técnicamente al cuerpo de suboficiales de mando táctico del Ejército Nacional, apoyándose en su grupo de investigación institucional:

- INTEMIL - Inteligencia Militar (Categoría C): Encargado de orientar la investigación formativa y aplicada de los suboficiales en áreas de formación militar y humanística, gestión y logística táctica en el terreno, y el uso de tecnologías para el control y la seguridad de las operaciones.

Escuela de Artillería (ESART)

Focalizada en la especialización de las unidades de fuego y apoyo terrestre:

- BALISTA (Categoría C): Diseña y ejecuta proyectos asociados al desarrollo de sistemas de artillería, modelamiento de balística, optimización de trayectorias e instrumentación de fuego de campaña.

Escuela de Armas Combinadas (ESACE)

Encargada de la formación en operaciones conjuntas y tácticas coordinadas:

- GICAM - Grupo de Investigación para la Capacitación Militar (Reconocido): Centra sus líneas de investigación en la doctrina militar, la táctica de armas combinadas, pedagogía, educación y conservación del medio ambiente en áreas de entrenamiento.

Escuela de Caballería (ESCAB)

Orienta el desarrollo de capacidades mecanizadas y blindadas en el terreno:

- **Grupo de Investigación de la Escuela de Caballería (Reconocido):** Enfocado en el desarrollo de simuladores aplicados a la caballería, mecánica militar, blindajes avanzados y optimización de movilidad táctica en geografías complejas.

Otras Escuelas y Centros del CEDOC

El subsistema académico integra a otras escuelas clave del SICTE:

- La Escuela de Infantería (ESINF) con su Centro de Investigación y Simulación de Infantería (CISI).
- La Escuela de Comunicaciones (ESCOM) con el grupo de investigación en comunicaciones militares GICMIL.
- La Escuela de Logística (ESLOG) con el grupo Logística Militar Empresarial.
- La Escuela de Ingenieros Militares (ESING).
- La Escuela de Aviación del Ejército (ESAVE) con el grupo de investigación en aviación militar.

Escuela Superior de Guerra (ESDEG)

La ESDEG cuenta con cuatro grupos de investigación reconocidos y categorizados por Minciencias, los cuales alimentan las líneas de investigación institucionales y aportan al desarrollo del pensamiento estratégico:

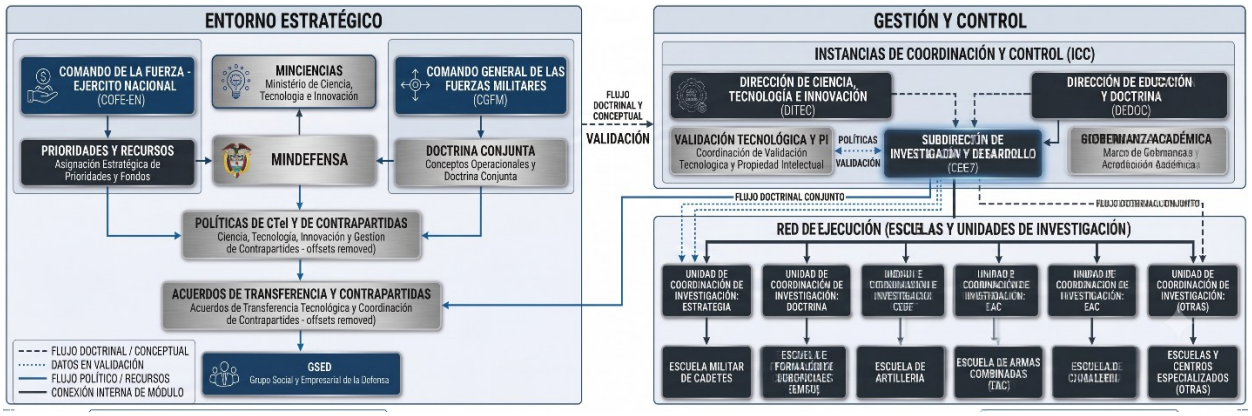
- Masa Crítica (Código Minciencias COL0123247 - Categoría A1): Liderado por Samuel Rivera Páez, este grupo se enfoca en las líneas de estrategia, geopolítica, educación militar, doctrina y liderazgo institucional.
- Centro de Gravedad (Código Minciencias COL0104976 - Categoría A1): Liderado por Christhian Acevedo Cortes, se encarga de concentrar la producción científica orientada a la seguridad, la defensa nacional y el desarrollo de capacidades militares operativas.
- Derechos Humanos, Memoria Histórica e Interseccionalidad (Código Minciencias COL0141423 - Categoría A): Bajo el liderazgo de Claudia Patricia Garay, investiga los ámbitos de memoria institucional, derechos humanos, derecho internacional de los conflictos armados (DICA) y procesos de consolidación de paz.

- Ciberespacio, Tecnología e Innovación (Código Minciencias COL0181179 - Categoría C): Liderado por la Coronel Milena Elizabeth Realpe, está enfocado específicamente en el estudio estratégico de la ciberseguridad, la ciberdefensa y las tecnologías exponenciales para el sector defensa.

Mapa de actores del Ecosistema de Transferencia Tecnológica.

Para operativizar el modelo de transferencia tecnológica, se requiere la integración y articulación de los actores internos de la fuerza con las entidades de planeación, control sectorial y desarrollo industrial del país. A continuación, se presenta la red relacional de los actores involucrados en el proceso:

Figura 13. Mapa de actores del ecosistema de transferencia tecnológica.



Fuente: Autora.

Tabla 9. Actores, Rol y funciones dentro del ecosistemas de transferencia.

Actor	Rol	Funciones
MDN (Ministerio de Defensa Nacional)	Autoridad Político-Estratégica	Definir la política sectorial de CTeI y compensaciones industriales offsets; coordinar los recursos presupuestales nacionales para la inversión en defensa.
CGFFMM (Comando General de las Fuerzas Militares)	Ente Operacional de Conjuntez	Emitir la doctrina conjunta de planeamiento (MFC 5-0) y operaciones (MFC 3-0); establecer requisitos operacionales y de

		interoperabilidad cognitiva para las tres fuerzas.
Comando de la Fuerza (Ejército Nacional)	Ente de Viabilización Operativa	Establecer prioridades de asimilación tecnológica para unidades de combate terrestre; destinar recursos de personal y logística para la innovación.
MinCiencias / SNCTI	Autoridad Nacional de CTeI	Registrar y certificar a los investigadores, grupos y centros de investigación; validar la producción científica mediante GrupLAC e InstituLAC.
GSED (Grupo Social y Empresarial de la Defensa)	Sector Industrial de Defensa	Desarrollar, fabricar y escalar comercialmente los prototipos a nivel industrial; coordinar la asimilación tecnológica local mediante transferencia de convenios específicos.
CEDOC (Comando de Educación y Doctrina)	Ente Académico Superior	Ejercer la gobernanza del subsistema educativo militar; aprobar la viabilidad de planes y proyectos de CTeI presentados por las escuelas.
CEDE7 (Departamento de Educación Militar)	Dirección Estratégica de Educación	Generar políticas y planes de capacitación militar; coordinar la investigación formativa, formal, y propiedad intelectual en el Ejército.
DITEC (Dirección de Ciencia y Tecnología)	Gestión y Control del SICTE	Gestionar y hacer seguimiento técnico a todos los proyectos de I+D+i del SICTE; articular la comunicación científica con MinCiencias.
COATE (Comando de Apoyo Tecnológico del Ejército)	Comando Habilitador de CTeI y Propiedad Intelectual	Direccionar, promover y acompañar la investigación científica, asimilar y proteger la propiedad industrial mediante patentes, y gestionar los procesos de transferencia interna y externa.
Escuelas de Formación (ESMIC, EMSUB, ESART, etc.)	Nodos Ejecutores de Investigación	Formular propuestas de proyectos de I+D+i, desarrollar prototipos en niveles TRL iniciales, y formar al talento humano en áreas del saber táctico.

Fuente: *Elaboración propia*

Esta articulación entre la academia interna de las fuerzas y los entes externos de gobernanza asegura que los resultados de la investigación se protejan mediante registros de propiedad industrial y se canalicen a través de las empresas del GSED (como CODALTEC, INDUMIL, COTECMAR), facilitando la transición del TRL 4 al TRL 7 operacional mediante el uso de compensaciones industriales (offsets) y alianzas con el sector nacional de ciencia y tecnología.

Análisis de Brechas entre Capacidades Actuales y Requerimientos del Modelo.

El establecimiento de una estrategia de implementación viable exige un análisis de los vacíos estructurales que impiden la transferencia fluida de conocimiento en el Ejército Nacional de Colombia:

Fragmentación Institucional y Desconexión de I+D+i

El análisis histórico y doctrinal de los proyectos desarrollados bajo el Sistema de Ciencia y Tecnología del Ejército Nacional (SICTE) revela una profunda desconexión estructural entre la producción científica académica y la demanda operativa del teatro de operaciones. Según datos de la justificación del proyecto de grado y el repositorio bibliográfico Bdigital (2019), únicamente el 15% de los proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i) del Ejército Nacional se alinean de manera directa con las necesidades operacionales inmediatas de las unidades en terreno. Esta desarticulación obedece a la ausencia de protocolos estructurados para priorizar y orientar las líneas de investigación científica hacia soluciones aplicables.

Como consecuencia, las iniciativas se gestan bajo un paradigma de empuje tecnológico (*technology push*) aislado en las aulas de las escuelas de formación. Ello genera el fenómeno conocido como el "valle de la muerte" de la transferencia tecnológica militar, donde los prototipos que alcanzan niveles intermedios de madurez técnica (TRL 4 a TRL 6) se vuelven obsoletos o administrativamente inviables antes de su validación operacional en unidades tácticas. Esta falta de sincronización impide capitalizar el conocimiento endógeno de los grupos de investigación categorizados por MinCiencias, perpetuando un ciclo de esfuerzos fragmentados que no se traducen en un incremento real de las capacidades de combate o respuesta táctica de la Fuerza.

Alfabetización Digital y Cualificación del Talento Humano

La segunda brecha se localiza en la dimensión humana y cognitiva de los actores que componen el ecosistema de transferencia. De acuerdo con el Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (PETI/PETIC Sectorial, 2023), el 54% del personal militar en Colombia presenta necesidades formales en alfabetización digital y en la gestión de la innovación. Esta carencia de competencias en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) impacta negativamente tanto a los formuladores académicos en las escuelas de formación como a los operadores tácticos encargados de asimilar la tecnología en áreas de conflicto.

Desde la perspectiva de la teoría de la capacidad de absorción de Cohen y Levinthal (1990), la habilidad de una organización para internalizar conocimiento externo depende de su "capital de absorción" previo. En el Ejército, los bajos niveles de escolaridad técnica y de formación digital de soldados profesionales y suboficiales de mando medio limitan drásticamente la capacidad de absorción realizada (transformación y explotación de tecnología). En el marco del Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) y la Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología (UTAUT), esta asimetría cognitiva se traduce en una baja Utilidad Percibida (PU) y una elevada Expectativa de Esfuerzo (EE), lo que desencadena una resistencia cultural al cambio en la tropa. Dicha resistencia fomenta la subutilización o el uso meramente ritualista de los sistemas de información, donde el operador prefiere ignorar los datos del sistema automatizado debido a la desconfianza técnica generada por una baja autoeficacia digital.

Infraestructura e Interoperabilidad Operativa

El tercer obstáculo crítico se sitúa en la infraestructura física, digital y doctrinal de la Fuerza. Los informes del Plan Estratégico de Tecnologías de la Información de la Fuerza Aeroespacial Colombiana (2023) indican que el 68% de las unidades operativas y de inteligencia táctica del Ejército Nacional carecen de sistemas interoperables que permitan la integración de datos satelitales y de sensores en tiempo real. La arquitectura digital actual se caracteriza por la fragmentación de redes de comunicación seguras y la coexistencia de

sistemas legados aislados, lo que impide consolidar una red única de datos unificada bajo el concepto de interoperabilidad cognitiva.

Esta falta de infraestructura digital interoperable restringe el despliegue de soluciones avanzadas tipo C4ISR (Mando, Control, Comunicaciones, Computación, Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento), obligando a que la transferencia de herramientas desarrolladas en la academia (como aplicaciones de mapeo o sistemas de alerta temprana) requiera canales manuales o análogos para su implementación en el terreno. La brecha se profundiza en las geografías selváticas y montañosas de Colombia, donde la conectividad limitada imposibilita el uso de sistemas que requieran gran ancho de banda, lo que evidencia que los desarrollos académicos omiten las restricciones reales del entorno de operaciones conjunto por no contar con una plataforma unificada compatible con estándares internacionales como la doctrina de planeamiento conjunto (MFC 5-0) y operaciones unificadas de la Fuerza.

Presupuesto y Dependencia Tecnológica Externa

La dimensión económica de la problemática se caracteriza por una crónica insuficiencia de recursos presupuestales destinados a la investigación militar soberana. En Colombia, el gasto en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) del sector defensa representa únicamente el 0.3% del presupuesto militar nacional (Mindefensa, 2023), una cifra sustancialmente inferior en comparación con referentes regionales como Chile (1.8%) o globales como Israel (3.5%). Esta restricción de capital impide consolidar una base industrial de defensa local robusta y limita el financiamiento de proyectos a largo plazo.

De acuerdo con informes de la Corporación de Alta Tecnología para la Defensa (CODALTEC, 2023), esta asimetría presupuestal se traduce en que el 72% de las tecnologías utilizadas en operaciones tácticas deban ser adquiridas a proveedores extranjeros. Esta alta dependencia tecnológica externa no solo eleva exponencialmente los costos logísticos por mantenimiento, soporte y actualización de licencias, sino que vulnera la soberanía de la nación al limitar la capacidad de adaptar el software y el hardware a las particularidades tácticas, climáticas y de orden público de la geografía colombiana. Esta situación perpetúa la Teoría de la Dependencia de Camino (*Path Dependency*), donde la

rigidez de las estructuras tradicionales de adquisición del sector defensa obstaculiza la adopción de innovaciones disruptivas desarrolladas internamente por el talento humano del SICTE.

Riesgos identificados para el modelo.

A continuación se presenta una matriz donde se identifican y detallan los elementos de los principales riesgos que se pueden identificar en la adopción del modelo.

Tabla 10. Matriz de riesgos principales en la adopción del modelo.

Riesgo	Causas	Efectos	Plan de Respuesta
Resistencia cultural a la adopción de nuevas tecnologías	Falta de alfabetización digital, sesgos hacia métodos convencionales, percepción de amenaza laboral.	Baja tasa de uso del sistema, desaprovechamiento de capacidades tácticas y fracaso en la gestión del cambio.	Programas de capacitación, sensibilización sobre beneficios operativos y acompañamiento de líderes de opinión.
Incompatibilidad técnica con sistemas legados (C4ISR)	Heterogeneidad en protocolos de datos, falta de estandarización en infraestructura de comunicaciones.	Disrupción en mando y control, pérdida de datos críticos en tiempo real, aumento de vulnerabilidades.	Pruebas de estrés previo al despliegue, cumplimiento estricto de estándares IRL y modernización escalonada.
Desconexión entre investigación y necesidad táctica	Ausencia de mecanismos de retroalimentación en tiempo real entre investigador y usuario final.	Inversión en soluciones sin impacto operacional, frustración en personal de investigación.	Talleres de cocreación obligatorios en fase de formulación y aval de pertinencia técnica del CEDOC.
Fragmentación institucional y silos organizacionales	Rigidez jerárquica, ausencia de un sistema unificado de gestión del conocimiento.	Manejo ineficiente de recursos, ralentización en tiempos de transferencia.	Comité interinstitucional de CTeI para gobernanza de datos y coordinación centralizada.
Dependencia tecnológica externa	Debilidad en base industrial de defensa nacional, falta de estrategias de soberanía tecnológica.	Altos costos logísticos, riesgos de bloqueo de suministro, limitaciones en adaptación local.	Cláusulas de transferencia (offsets) en compras y fomento de spin-offs en el GSED.
Incumplimiento normativo y regulatorio	Desconocimiento de normativa, falta de acompañamiento jurídico especializado.	Bloqueo administrativo, sanciones legales, riesgos reputacionales.	Oficina jurídica de IP en el COATE y revisión de conformidad en hitos de control.

Rotación de talento humano especializado	Dinámica de traslados/ascensos no alineada con ciclos de vida de proyectos.	Interrupción de curvas de aprendizaje, abandono de proyectos de larga maduración.	Sistema de gestión del conocimiento para independencia de proyectos respecto al personal.
Insuficiencia presupuestal	Baja inversión estatal en I+D+i, falta de diversificación financiera.	Estancamiento en niveles TRL medios, obsolescencia técnica.	Financiamiento híbrido (fondos de regalías, capital de riesgo, alianzas público-privadas).
Impacto ambiental negativo	Omisión de criterios de sostenibilidad socioambiental en diseño inicial.	Daño a legitimidad institucional, sanciones ambientales en zonas protegidas.	Aplicación obligatoria de Coeficiente de Sostenibilidad y Análisis de Ciclo de Vida (LCA) en TRL 4-6.
Vulnerabilidad de ciberseguridad	Debilidades en protocolos de encriptación, cultura de seguridad digital deficiente.	Filtración de inteligencia estratégica, pérdida de ventaja competitiva.	Auditorías permanentes, sistemas de encriptación cuántica y capacitación continua en ciberdefensa.

Fuente: *Autora*

Estrategias de adopción del modelo de transferencia.

Para superar la brecha de fragmentación institucional y la resistencia cultural identificadas en el diagnóstico, se establece la implementación de talleres de cocreación como la herramienta central de diseño participativo entre investigadores de las escuelas de formación militar (ESMIC, EMSUB, ESART, ESACE, ESCAB) y el personal táctico en terreno. La cocreación con usuarios finales se concibe como un proceso intencionado de Apropiación Social del Conocimiento (ASC) avalado por MinCiencias, el cual busca asegurar que los desarrollos de investigación se adapten a las condiciones extremas de conectividad y estrés del teatro de operaciones, superando el modelo lineal cerrado de investigación (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2022).

Talleres de co-creación para el diseño de estrategias

Este diseño participativo se estructurará formalmente mediante tres fases operativas:

Diagnóstico Conjunto y Diálogo de Saberes: Esta fase reúne periódicamente a investigadores y oficiales de doctrina del CEDOC con mandos operacionales delegados por el COATE en mesas de trabajo conjuntas. El objetivo técnico es traducir las necesidades

tácticas recopiladas en campo en retos científicos viables, asegurando que las propuestas de proyectos cuenten con el aval de pertinencia desde su concepción. Durante estas sesiones, se aplica un diálogo de saberes donde los soldados aportan su experiencia práctica sobre las fallas comunes de los equipos en áreas selváticas y montañosas, mientras que los investigadores contrastan estos datos con los avances de la ciencia aplicada y los estándares de la Política de CTeI 2024 (Ministerio de Defensa Nacional, 2024). El resultado de esta fase es una matriz unificada de requisitos operacionales que actúa como entrada obligatoria para el diseño de cualquier nuevo proyecto de I+D+i.

Prototipado Colaborativo e Innovación de Usuario: Consiste en la ejecución de ciclos de desarrollo ágil donde los investigadores de las escuelas construyen modelos a pequeña escala o prototipos preliminares (TRL 1 a TRL 3) y los someten a pruebas de usabilidad con soldados identificados como usuarios líderes (Lead Users). En lugar de retrasar la evaluación hasta el final del proceso, este enfoque promueve la retroalimentación inmediata sobre la ergonomía, la interfaz de usuario, y la resistencia de los materiales en entornos simulados de combate. Este proceso reduce el riesgo de rechazo por incompatibilidad ergonómica, permitiendo a los ingenieros de la fuerza ajustar el hardware y el software basándose en la experiencia física real de la tropa bajo condiciones climáticas y geográficas hostiles.

Integración y Formalización Doctrinal: Una vez refinados los prototipos, se procede a consolidar un protocolo de asimilación técnica que especifique las condiciones para su entrega e implementación operacional. En esta fase, el Centro de Doctrina Conjunta (CEDCO) y los asesores jurídicos evalúan que la tecnología co diseñada cumpla plenamente con los manuales doctrinales MFC 5-0 (Planeamiento Conjunto) y MFC 3-0 (Operaciones Conjuntas), resguardando los principios del Derecho Internacional Humanitario. El COATE lidera esta fase formalizando la entrega del prototipo mediante un concepto técnico de viabilidad, el cual delimita la propiedad intelectual del Ejército Nacional y establece la hoja de ruta para su posterior escalamiento o transferencia industrial.

Programa de Capacitación y Aprendizaje Organizacional

La mitigación de la brecha de cualificación del talento humano y alfabetización digital exige el diseño de un programa de formación técnica estructurado bajo principios de andragogía (educación de adultos) y aprendizaje organizacional. De acuerdo con Malcolm Knowles (1985), el aprendizaje en adultos difiere significativamente de la pedagogía tradicional, debido a que el personal adulto requiere un enfoque formativo autodirigido, práctico y orientado a la resolución de problemas reales (Vba Bolivar, 2022). En el contexto castrense, los oficiales superiores y suboficiales responden de manera más efectiva a metodologías interactivas y cooperativas basadas en el principio de "aprender haciendo" (learning by doing), donde la teoría se asimila directamente a través de simulaciones de combate y escenarios operativos reales de toma de decisiones.

El programa de capacitación se estructurará a través de tres componentes curriculares obligatorios:

Eje de Dirección de Proyectos Tecnológicos y Gobernanza de TI: Este componente proporciona a los líderes y directores de las unidades organizacionales las herramientas gerenciales necesarias para la formulación, control y evaluación de proyectos de transformación digital. El plan de estudios se fundamenta en los estándares internacionales de dirección de portafolios de base tecnológica y en la metodología CP3M© V5.0 de la Universidad del Valle (Solarte-Pazos et al., 2014). Los contenidos abordan la gestión de costos, cronogramas de desarrollo, evaluación de riesgos de ciberseguridad, y alineación estratégica de los desarrollos con el Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (PETI Sectorial, 2023). Este eje busca capacitar a los mandos para que actúen como directores de proyectos capaces de supervisar la ejecución presupuestal y técnica de las innovaciones de forma eficiente.

Métricas de Madurez, Interoperabilidad y C4ISR: Dirigido a los investigadores y evaluadores técnicos de la DIPTE y el COATE, este eje se enfoca en estandarizar la evaluación del alistamiento tecnológico antes de autorizar el despliegue en campo. Los temas curriculares comprenden el entrenamiento en la medición de niveles de madurez técnica (TRL), madurez de integración (IRL) y madurez de sistemas (SRL) bajo estándares internacionales

compatibles con la OTAN. Asimismo, se capacita al personal en la evaluación de la interoperabilidad cognitiva, asegurando que los nuevos dispositivos de telecomunicaciones o software de geolocalización utilicen protocolos de datos que permitan su integración transparente con la arquitectura de Mando, Control, Comunicaciones, Informática, Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (C4ISR) existente en la fuerza.

Propiedad Intelectual, Licenciamiento y Transferencia de Tecnología: Este componente instruye al personal sobre el marco legal e institucional que rige los derechos de propiedad intelectual dentro del sector defensa de Colombia. Los módulos formativos se estructuran con base en las directrices de la Resolución 02078 de 2020 (Manual de Ciencia, Tecnología e Innovación) y las directivas internas de protección de activos intangibles (Directiva 027 de 2019). Los estudiantes adquieren capacidades para redactar e interponer solicitudes de patentes de invención, modelos de utilidad y registro de software ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y la Dirección Nacional de Derechos de Autor (DNDA). De igual forma, se abordan los procesos de asimilación técnica local derivados de acuerdos de cooperación industrial (offsets) y los modelos de licenciamiento para el uso dual (civil-militar) de la tecnología.

Fichas de Comunicación e Información

Para asegurar la apropiación social del conocimiento y evitar el abandono prematuro de las tecnologías transferidas en el área de operaciones, se establece la creación de un sistema de piezas y fichas de comunicación e información. De acuerdo con los manuales de transferencia de tecnología de Agrosavia desarrollados por Cabo Andrade (2013), los medios de comunicación constituyen herramientas indispensables para la vinculación de conocimientos; sin embargo, si no se diseñan considerando las características de las audiencias, el mensaje se diluye de manera inmediata. Bajo condiciones extremas de estrés operacional y alta carga cognitiva en las unidades tácticas, la información compleja debe reducirse a su mínima expresión funcional. Como lo indica Cabo Andrade (2013), "el principal portador del mensaje es el propio investigador; las piezas de comunicación sirven para fortalecer, reforzar y maximizar la recordación del conocimiento transferido".

El sistema de comunicación e información para el modelo de transferencia se implementará a través de los siguientes elementos estructurados:

Fichas Técnicas de Transferencia Tecnológica: Consiste en el diseño de un catálogo unificado de fichas técnicas que siguen la metodología del Observatorio de Derechos Humanos y Defensa Nacional del Ministerio de Defensa (Mindefensa, 2023) para la sistematización de información. Cada tecnología, sistema o software listo para despliegue operacional (TRL 7 o superior) contará con una ficha técnica que describirá de forma directa: el problema operacional o táctico que resuelve, las características técnicas del dispositivo, las interfaces e interoperabilidad garantizadas (IRL), las limitaciones operacionales del sistema y el canal de soporte logístico. Estas fichas facilitan la rápida comprensión e interpretación por parte de los oficiales de operaciones en el terreno.

Cartillas Visuales de Campo y Guías Rápidas de Operación: Consiste en la creación de guías físicas portátiles, impresas en sustratos resistentes al agua y a la humedad para el uso en campaña por parte del soldado como usuario final. Estas piezas de comunicación visual evitarán la redacción de extensos manuales de ingeniería, enfocándose en diagramas de flujo de operación, listas de verificación de alistamiento (checklist), procedimientos de mantenimiento preventivo y acciones rápidas ante fallas técnicas comunes. El diseño de estas guías se fundamenta en principios de diseño centrado en el usuario, facilitando la consulta rápida bajo condiciones de combate o fatiga operacional severa.

Contenido Audiovisual y Podcasts

Se desarrollará una biblioteca digital de tutoriales interactivos en video (de 3 a 5 minutos de duración) y audios de corta duración pregrabados. Estas piezas multiplataforma se cargarán en las tabletas tácticas de uso militar y en la plataforma LMS (Blackboard) del CEDOC. El contenido se centrará en demostraciones técnicas de instalación, calibración y uso seguro de la tecnología. Esta estrategia de microaprendizaje permite que las tripulaciones de blindados, operadores de drones o soldados en puestos avanzados asimilen de forma autónoma las capacidades antes de un despliegue operacional,

garantizando una alta tasa de recordación y disminuyendo las necesidades de asistencia técnica presencial en áreas de difícil acceso.

Implementación y Control del Componente Comunicativo

Para asegurar la consistencia del mensaje, la elaboración de estas piezas e instrumentos seguirá un flujo de trabajo controlado:

- Fase de Reducción de Complejidad: El equipo de desarrollo técnico de la escuela de formación entrega el informe final del proyecto al COATE. El COATE, en coordinación con la sección de comunicaciones del CEDE7, traduce la jerga ingenieril a un lenguaje táctico y directo que sea comprensible para el personal de tropa.

- Fase de Validación con Usuario Líder: Antes de la distribución del material comunicativo, las fichas y videos son evaluados con un grupo de control de soldados en los laboratorios de simulación militar. Se mide el nivel de comprensión de las instrucciones y la velocidad de ejecución de las tareas operacionales, ajustando el contenido gráfico o el audio hasta que el índice de error en la asimilación sea nulo.

- Fase de Distribución Territorial y Soporte: Las cartillas físicas impermeables se distribuyen junto con el material de intendencia y los equipos tecnológicos a los comandantes de unidad táctica en el Control 4. En paralelo, las piezas digitales se cargan en la red unificada de datos del SICTE, habilitando un código QR en cada ficha técnica para permitir la descarga rápida de las cápsulas de video desde dispositivos móviles autorizados de la Fuerza.

Resumen de actividades a desarrollar.

Tabla 11. Cronograma resumen de actividades para la adopción.

Elemento	Actividad	Responsable	Tiempo en semanas
Talleres Participativos	Diagnóstico inicial y levantamiento de necesidades con estamentos.	Dirección de Investigación ESDEG	4
	Diseño metodológico, guiones pedagógicos y pruebas de entorno virtual.	Unidad de Pedagogía e Innovación	4
	Ejecución de sesiones, sistematización y análisis cualitativo de aportes.	Equipo de Investigadores Docentes	4
Programa de Capacitación	Estructuración curricular formal y validación por competencias.	Dirección Académica	6
	Desarrollo integral de contenidos, guías y materiales multimedia.	Expertos en Contenidos Temáticos	6
	Fase piloto: Implementación, ajustes técnicos y evaluación final.	Unidad de Pedagogía e Innovación	4
Piezas y Fichas de Comunicación	Definición de narrativa, línea gráfica y estrategia de despliegue.	Oficina de Comunicaciones Estratégicas	2
	Producción de infografías, fichas técnicas y activos digitales.	Equipo de Diseño y Multimedia	1
	Ejecución del plan de difusión, retroalimentación y cierre.	Oficina de Comunicaciones Estratégicas	1

Fuente: *Elaboración propia.*

Factores críticos de éxito y fracaso del modelo propuesto.

- La transferencia tecnológica exitosa requiere un compromiso explícito desde las altas esferas del mando o la dirección ejecutiva. La experiencia del Departamento de Defensa de los Estados Unidos demuestra que las iniciativas que cuentan con

una visión estratégica clara y respaldo presupuestal continuo logran una mayor tasa de adopción de tecnologías disruptivas (RAND Corporation, 2022).

- El modelo de "Innovación Liderada por el Usuario" requiere involucrar a los operadores finales durante el diseño del prototipo para reducir las brechas de usabilidad y funcionalidad. Las fuerzas militares exitosas han integrado soldados en los laboratorios de prototipado para validar la ergonomía y la pertinencia táctica antes del escalado industrial (Von Hippel, 1991)

- La capacidad de desarrollar soluciones de bajo costo y probarlas en entornos reales de manera rápida permite fallar tempranamente y corregir el rumbo antes de comprometer presupuesto.

- El uso de métricas objetivas para evaluar el estado técnico y operativo permite una toma de decisiones basada en evidencia. La adopción de estos estándares, promovida por la NASA y replicada en la OTAN, es esencial para gestionar los riesgos de integración y asegurar que la tecnología sea compatible con los sistemas existentes.

- La sinergia entre academia, industria, gobierno y sociedad civil favorece el flujo de conocimiento. Modelos exitosos, como el ecosistema de defensa de Israel, han demostrado que la colaboración estructurada universidad-industria-ejército acelera la transferencia de tecnologías de uso dual, maximizando la eficiencia de los recursos.

- El fracaso más común ocurre cuando existe una brecha financiera y de gestión entre la validación científica de un prototipo (TRL 4-6) y su despliegue operacional (TRL 7-9). La falta de un modelo que asegure el escalado industrial y la financiación de transición provoca que proyectos prometedores se abandonen prematuramente (OCDE, 2021).

- La cultura de "innovación cerrada" y la compartimentación de la información impiden la adopción de tecnologías comerciales. Las organizaciones que no logran integrar

flujos de conocimiento externos, como se describe en el paradigma de la Innovación Abierta, pierden competitividad frente a adversarios más ágiles.

- Un error recurrente es el enfoque de empuje tecnológico donde se desarrolla tecnología sin una necesidad operativa claramente definida por el mando. La OTAN ha enfatizado que las soluciones tecnológicas que no se integran de manera coherente con la doctrina operativa vigente suelen ser descartadas por las unidades en terreno, independientemente de su sofisticación técnica.

- En el sector civil y dual, la gestión ineficiente de los derechos de propiedad intelectual, o una protección excesiva que desincentiva la colaboración, actúa como una barrera que bloquea la transferencia. Según la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, la falta de claridad en las licencias y regalías es una de las causas principales de la ruptura de alianzas estratégicas entre universidades y empresas.

- La transferencia tecnológica fracasa cuando se entrega un equipo o sistema al usuario final sin el debido acompañamiento pedagógico ni la infraestructura de mantenimiento. La Comisión Europea (2022) destaca que la valorización del conocimiento requiere no solo el traspaso del activo, sino también la transferencia de capacidades técnicas para su operación, soporte y mejora continua**.**

6.4 VALIDACIÓN DEL MODELO PROPUESTO**.**

La validación del modelo de transferencia tecnológica se desarrolló mediante un proceso que garantiza su coherencia teórica y viabilidad operativa en el marco del plan estratégico de transformación digital del Comando General de las Fuerzas Militares (COGFM). Para tal fin, se ha definido una metodología mixta que articula el juicio de expertos mediante la técnica Delphi modificada con la aplicación de instrumentos de encuesta dirigidos a oficiales de las fuerzas militares. Este enfoque permitió contrastar la validez conceptual del modelo con la percepción operativa de los actores institucionales involucrados en la toma de decisiones, asegurando una integración técnica y doctrinal alineada con las necesidades de la fuerza.

El desarrollo de esta validación se estructura en cuatro pasos, que parten del diseño de instrumentos, definición de la muestra, ejecución del trabajo de campo y triangulación de resultados. El panel de expertos se conformará por oficiales superiores y profesionales del sector defensa con trayectoria en investigación y desarrollo tecnológico; asimismo, la encuesta se aplicará a una muestra de oficiales en los grados de Mayor, Teniente Coronel y Coronel, garantizando la representatividad de la perspectiva táctica y operacional. La triangulación de la información cualitativa y cuantitativa derivada de ambos instrumentos servirá de insumo para el refinamiento del modelo, otorgando un sustento empírico que vincula los requerimientos operacionales con las capacidades institucionales de ciencia, tecnología e innovación.

Diseño de Instrumentos.

Estos instrumentos operacionalizan las variables críticas identificadas en el estudio, permitiendo la captura de datos tanto en el nivel técnico-especializado como en el nivel operativo, mediante una estructura analítica que posibilita la evaluación de la pertinencia, coherencia interna y viabilidad institucional del modelo. Los instrumentos presentados a continuación integran las dimensiones fundamentales incluyendo elementos de aceptación tecnológica, índices de madurez y adopción doctrinal para facilitar una triangulación de resultados. Los instrumentos evalúan las variables definidas en la matriz de transferencia tecnológica, estructuradas bajo los siguientes ejes:

- Alineación Doctrinal: Coherencia entre el modelo propuesto, el PETEF 2042 y las directrices de CTeI 2024.
- Capacidad de Absorción y Talento Humano: Competencias STEM, alfabetización digital y aptitud del personal para asimilar conocimiento técnico.
- Madurez Técnica y de Integración: Medición de la evolución técnica (TRL), la capacidad de interoperabilidad (IRL) y la preparación organizacional (MRL).
- Utilidad y Facilidad de Uso Percibida: Dimensiones derivadas de los modelos TAM/UTAUT que evalúan la intención conductual y el comportamiento de uso del usuario militar.

- Sostenibilidad: Impacto socioambiental y eficiencia en el uso de recursos.
- Viabilidad Institucional: Capacidad de la estructura administrativa y normativa de la Fuerza para dar soporte al modelo.

Cuestionario para panel de experto.

El cuestionario establecido para desarrollar el panel de expertos, busca identificar la percepción de los actores del sistema de ciencia y tecnología de las escuelas de formación frente a la propuesta desarrollada en el apartado anterior, por lo que se indaga sobre las siguientes dimensiones.

- Utilidad percibida del modelo.
    - El modelo integra adecuadamente los lineamientos del PETEF 2042 y la Política de CTeI 2024.
    - La estructura del modelo responde a las necesidades identificadas en el entorno operacional actual.
    - El enfoque de Cuádruple Hélice fortalece la soberanía tecnológica del Ejército Nacional.
- Métricas usadas del modelo.
    - Los niveles de madurez seleccionados (TRL, IRL, MRL) son adecuados para medir la evolución de tecnologías de defensa dentro del EJC.
    - El Coeficiente de Sostenibilidad propuesto permite una evaluación equilibrada entre impacto ambiental y capacidad operativa.
    - La matriz de variables permite identificar brechas críticas en el proceso de transferencia.
- Viabilidad Institucional
    - El procedimiento de integración es ejecutable bajo la estructura jerárquica y administrativa de la Fuerza.
    - Los mecanismos de propiedad intelectual y control jurídico propuestos protegen los activos intangibles de la institución.
    - La estrategia de relacionamiento entre las Escuelas de Formación, el GSED y las unidades operativas es realista.

Encuesta de validación propuesta.

Se desarrolla que busca medir la percepción de aplicabilidad y utilidad del modelo mediante una escala Likert en el ejercicio de mando y toma de decisiones en oficiales superiores, oficiales de estado mayor y personal de apoyo y gestión que aporta a la toma de decisiones dentro del proceso de investigación y desarrollo tecnológico, a partir de los siguientes componentes:

- Utilidad Percibida.
    - El modelo de transferencia permitiría mejorar la toma de decisiones en las escuelas de formación ante amenazas identificadas en el teatro de operaciones.
    - La integración de tecnologías locales conforme a este modelo incrementaría la eficacia operativa de la unidad.
    - El modelo facilita la interoperabilidad entre los sistemas C4ISR con los que cuenta actualmente la fuerza.
- Facilidad de Uso Percibida.
    - Las directrices y guías de transferencia tecnológica propuestas son comprensibles para su aplicación en campo.
    - El modelo reduce la complejidad administrativa actual para la adopción de nuevas soluciones tecnológicas a partir de los desarrollos en las Escuelas.
    - Las fichas de transferencia y guías rápidas facilitan la apropiación del conocimiento por parte del personal subalterno.
- Pertinencia Social y Facilitadores.
    - La implementación de este modelo fomentaría una cultura de innovación técnica en la unidad.
    - El mando institucional posee la capacidad de brindar el soporte necesario para la implementación de las tecnologías validadas bajo este modelo.
    - Las condiciones logísticas y de infraestructura propuestas son suficientes para asegurar la sostenibilidad de las soluciones tecnológicas en áreas remotas.

Muestra y perfiles para la validación.

La selección del panel de expertos se fundamenta en un muestreo no probabilístico intencional, dado que la técnica Delphi requiere de participantes con conocimientos especializados y experiencia sustancial en la temática abordada. El panel estará conformado por un grupo de entre 8 a 15 expertos, seleccionados bajo los siguientes criterios de inclusión:

- Nivel Académico: Título de posgrado Maestría o Doctorado en áreas de ingeniería, gestión de tecnología, estrategia militar, educación o afines al Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Experiencia Profesional: Trayectoria mínima de 20 años en el sector defensa, con énfasis en procesos de investigación, desarrollo tecnológico, planeamiento estratégico, operacional o desarrollo táctico de actividades militares.
- Representatividad Institucional: Se garantizará una distribución equilibrada entre representantes de la academia militar Centro de doctrina, Centros de investigación, Grupos de investigación, Comando General de las Fuerzas Militares, asegurando que el modelo sea evaluado desde la perspectiva científica metodológica, doctrinal y estratégica.

Para la encuesta de validación, se define una muestra de carácter no probabilístico por conveniencia, dirigida a oficiales en los grados de Mayor y teniente coronel. La selección de estos rangos responde a su rol determinante en la toma de decisiones tácticas y operacionales, así como en la gestión de unidades que requieren la adopción de nuevas capacidades tecnológicas. Los criterios de selección para esta muestra son:

- Perfil: Oficiales en servicio activo en unidades tácticas, administrativas u operacionales, que se encuentren vinculados a estados mayores encargados de procesos de investigación, adopción y desarrollo tecnológico.
- Contexto de Aplicación: Se priorizará a oficiales con experiencia en despliegues operativos que requieran interoperabilidad, uso de sistemas C4ISR o gestión de recursos tecnológicos en el terreno.

- Tamaño de la Muestra: Se proyecta una muestra representativa de 58 oficiales que permita analizar la percepción de utilidad y facilidad de uso del modelo en diferentes escenarios de la fuerza, garantizando la cobertura de los distintos niveles de mando identificados.

Este diseño asegura que los resultados obtenidos no solo cumplan con el rigor científico necesario para la validación académica, sino que también reflejen la viabilidad de implementación bajo las restricciones, doctrina y necesidades operativas reales del Ejército Nacional.

Hallazgos de la técnica Delphi

El proceso de validación, mediante la consulta a expertos con amplia trayectoria en el sector defensa (Escuelas de formación, Comando General, CTeI), en el que participaron 14 oficiales Superiores lo que permitió una evaluación integral del modelo. A continuación, se presenta la discusión cualitativa de los hallazgos, categorizados por las dimensiones del modelo de la siguiente manera

Utilidad percibida del modelo: Esta dimensión articula la pertinencia estratégica y la capacidad de respuesta operacional y tuvo un resultado de 4.02/5.0, el comportamiento estadístico de las respuestas obtenidas en el grupo focal se muestra a continuación.

Tabla 12. Estadísticos categoría Utilidad percibida.

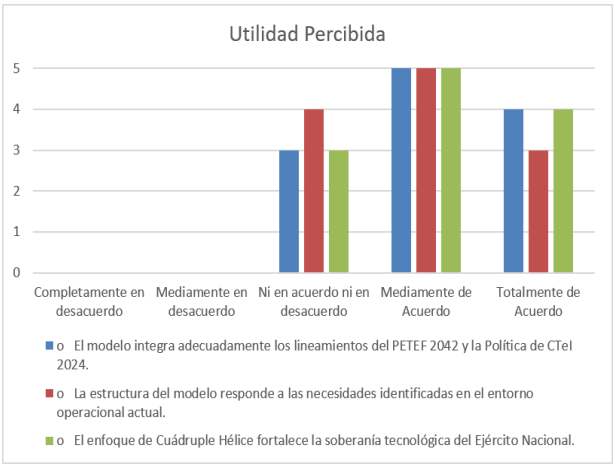
Estadístico.	Integra adecuadamente los lineamientos del PETEF 2042 y CTeI.	Responde a las necesidades en el entorno operacional.	El enfoque de Cuádruple Hélice fortalece la soberanía tecnológica.
Media	4.08	3.92	4.08
Error est. media	0.229	0.229	0.229
Mediana	4.00	4.00	4.00
Moda	4.00	4.00	4.00
Desviación estándar	0.793	0.793	0.793

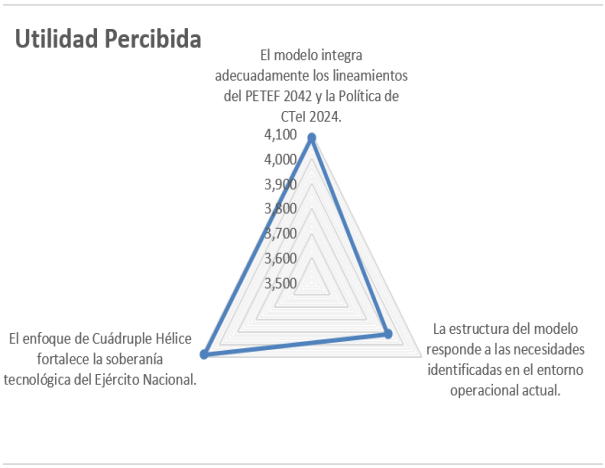
Percentil 75	5.00	4.25	5.00

Fuente: *Elaboración propia*

Los resultados estadísticos reflejan una percepción altamente favorable y consistente respecto al diseño, con promedios cercanos a 4 en las tres dimensiones evaluadas: integración de lineamientos, respuesta operacional y soberanía tecnológica. La uniformidad en la mediana y la moda (constantes en 4), acompañada de una desviación estándar idéntica (0.793) en todas las categorías, evidencia un consenso sólido entre los expertos sobre la pertinencia del modelo y su capacidad efectiva para articularse con los requerimientos estratégicos y las necesidades del entorno operacional.

Figura 14. Resultados iniciales dimensión de Utilidad Percibida.





Fuente. Autora a partir de los resultados.

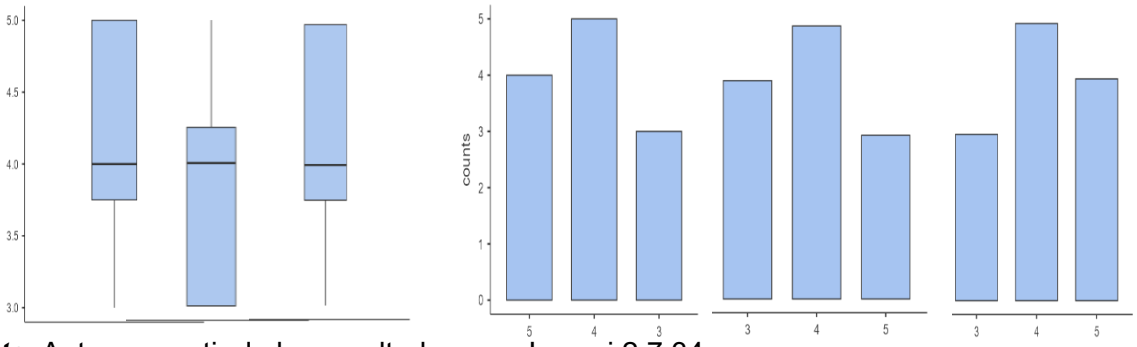
- Integración con PETEF 2042 y Política de CTeI (4.08/5.0): Los expertos coinciden en que la propuesta es un instrumento de materialización de los lineamientos del sector defensa. El Vicedirector de Investigación de la Escuela de Guerra (quien otorgó un 5/5) argumenta que la integración "asegura que los esfuerzos de investigación se orienten hacia los objetivos institucionales de transformación digital", validando que la estructura no es paralela, sino convergente con el PETEF 2042. No obstante, voces críticas como la del Asesor en Educación y Doctrina del Comando General (3/5) sugieren que esta alineación debe ser flexible, advirtiendo

que la rigidez normativa podría limitar la agilidad necesaria para responder a cambios rápidos en la política de CTeI.

- Respuesta a necesidades operacionales (3.91/5.0): Este componente mostró la mayor variabilidad. Si bien existe una percepción positiva, expertos con cargos operativos señalan que el éxito del modelo reside en la "capacidad de retroalimentación en tiempo real desde el teatro de operaciones". Reflexiones de expertos como el Director de I+D+i de la Escuela Militar de Cadetes (quien otorgó un 5/5) sugieren que la estructura es responsiva; sin embargo, otros participantes, como el Jefe del Centro de Investigación Regional (3/5), enfatizan que los resultados de laboratorio deben trascender hacia pruebas de estrés operacional para confirmar su utilidad real.

- Enfoque de Cuádruple Hélice (4.08/5.0): Se logró un consenso sobre la pertinencia de este enfoque para fortalecer la soberanía tecnológica. Los expertos coinciden en que la articulación entre academia, industria y Estado es la vía para mitigar la dependencia tecnológica externa. El Jefe del Centro de Investigación en Seguridad y Defensa Nacionales (5/5) subraya que esta hélice "facilita la sinergia necesaria para desarrollar capacidades críticas localmente", reduciendo vulnerabilidades institucionales.

Figura 15. Diagrama de cajas e histograma dimensión de Utilidad Percibida.



Fuente. Autora a partir de los resultados con Jamovi 2.7.34.

Se observa una percepción general positiva y centralizada en una valoración de la mediana de 4.0 para las tres dimensiones evaluadas. En las dimensiones 1 y 3, la distribución es notablemente favorable, con el cuartil superior alcanzando el máximo puntaje (5.0), lo que

refleja un alto consenso entre los expertos sobre la integración de lineamientos y el fortalecimiento de la soberanía tecnológica. Por otro lado, la dimensión 2, aunque comparte la misma mediana, presenta una mayor dispersión en los rangos inferiores, lo que sugiere que, si bien el modelo responde satisfactoriamente al entorno operacional, existe una variabilidad ligeramente mayor en las opiniones de los expertos respecto a este punto específico en comparación con los otros dos

Métricas de evaluación técnica: Esta dimensión aborda el rigor necesario para transitar del prototipo a la capacidad táctica y tuvo un promedio de 3.91/5.0.

Tabla 13. Estadísticos categorías métricas usadas.

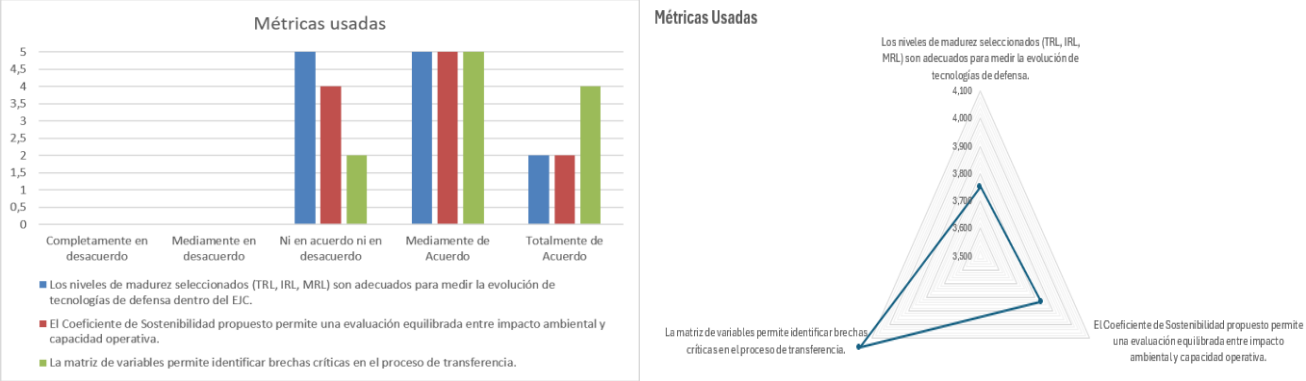
Estadístico	Los niveles de madurez (TRL, IRL, MRL) son adecuados.	permite una evaluación entre impacto ambiental y capacidad operativa.	La matriz de variables permite identificar brechas en el proceso de transferencia.
Media	3.75	3.83	4.17
Error est. media	0.218	0.207	0.207
Mediana	4.00	4.00	4.00
Moda	3.00	4.00	4.00
Desviación estándar	0.754	0.718	0.718
Percentil 75	4.00	4.00	5.00

Fuente: *Elaboración propia*

Los resultados revelan una percepción general positiva y estable entre los expertos, consolidándose una mediana de 4.00 en los tres elementos evaluados. La matriz de variables para identificar brechas en el proceso de transferencia se posiciona como el componente con la valoración más alta, alcanzando una media de 4.17 y un percentil 75 de 5.00, lo que sugiere una mayor aceptación sobre su utilidad técnica. Por otro lado, la evaluación de los niveles de madurez seleccionados (TRL, IRL, MRL) muestra una tendencia ligeramente más conservadora y con mayor dispersión de opiniones, reflejada en una media de 3.75 y una moda de 3.00. A pesar de estas diferencias, la consistencia en el juicio de los expertos se mantiene sólida, apoyada por desviaciones estándar bajas (entre

0.718 y 0.754), lo que denota una alineación coherente en la apreciación de la propuesta de evaluación de sostenibilidad y transferencia tecnológica.

Figura 13. Resultados iniciales dimensión de Métricas Usadas.



Fuente. Autora a partir de los resultados.

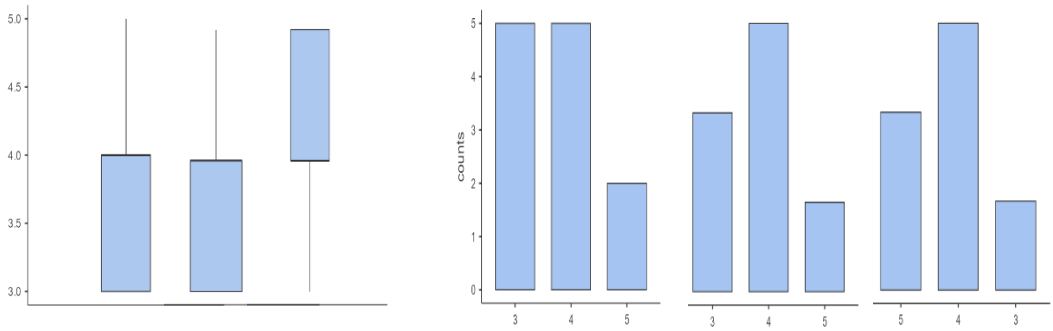
- Niveles de madurez TRL, IRL y MRL (3.75/5.0): El panel reconoce el valor técnico de estas métricas para evitar el "valle de la muerte" tecnológico. El Jefe del Departamento de Educación del Comando General (3/5) señala que, aunque son estándares internacionales necesarios, se requiere una "aplicación cuidadosa para no subestimar los desafíos de integración en ambientes operacionales". Existe consenso en que las métricas aportan trazabilidad, pero requieren protocolos de evaluación que no saturen administrativamente a los grupos de investigación.

- Coeficiente de Sostenibilidad (3.83/5.0): Los expertos valoraron positivamente la inclusión de este componente, considerándolo una innovación necesaria. El Asesor en Educación y Doctrina del Comando General (5/5) destaca que esta métrica alinea la "eficiencia operativa con la responsabilidad ecológica", un factor alineado con las tendencias modernas de defensa. Algunos expertos (con calificaciones de 3/5) recomendaron que esta métrica actúe como una herramienta de optimización de recursos y no como un filtro que obstaculice la viabilidad de proyectos estratégicos de alta intensidad.

- Matriz de Variables (4.16/5.0): Este componente obtuvo el nivel más alto de aceptación, siendo catalogado como una herramienta de diagnóstico efectiva. El

panel coincide en que la matriz "permite mapear con precisión desafíos y oportunidades", eliminando la subjetividad en la priorización de proyectos. La calificación de 5/5 otorgada por el Gestor de Investigación del Ejército refuerza la idea de que esta matriz es el eje ordenador de todo el proceso de transferencia.

Figura 17. Diagrama de cajas e histograma dimensión de métricas utilizadas.



Fuente. Autora a partir de los resultados con Jamovi 2.7.34.

Se observa una percepción diferenciada para la dimensión de métricas, se observa que para los niveles de madurez TRL, IRL, MRL y Coeficiente de Sostenibilidad, los expertos muestran un consenso similar con una mediana de 4.0 y una dispersión que abarca desde 3.0 hasta 4.0, lo que sugiere una valoración positiva, pero con cierto margen de mejora en la percepción de estos indicadores. Por otro lado, frente a la utilidad de la matriz de variables para identificar brechas críticas en la transferencia, destaca por un consenso con una mayor concentración de las opiniones que se ubica en el rango superior (de 4.0 a 5.0), lo que valida con la percepción de eficacia de esta herramienta específica en el proceso de transferencia tecnológica.

Las categorías 2.1 y 2.2 presentan una distribución similar, con medianas ubicadas en 4.0 pero con una notable dispersión en el rango inferior desde 3.0 hasta 4.0, lo que sugiere opiniones más variadas o cierta cautela en estos aspectos específicos. Por el contrario, la dimensión 2.3 destaca por una tendencia significativamente más positiva; la mayor parte de la distribución (la caja) se concentra en el rango superior, entre 4.0 y cerca de 5.0, lo que indica un consenso más fuerte y favorable por parte de los expertos, a pesar de que existe una amplitud de respuesta que se extiende hacia abajo hasta el 3.0.

Viabilidad institucional: El análisis cualitativo en este apartado revela la importancia de la estructura administrativa para la ejecución del modelo obtuvo un promedio 4.05/5.0.

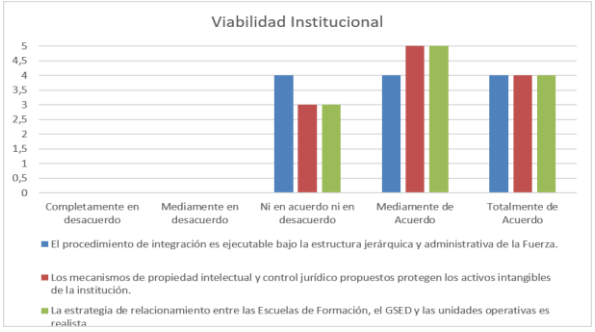
Tabla 14. Estadísticos categoría viabilidad institucional.

Estadístico	El procedimiento de integración es ejecutable.	Los mecanismos de PPI y control protegen los activos .	La estrategia de relacionamiento es realista.
Media	4.00	4.08	4.08
Error est. media	0.246	0.229	0.229
Mediana	4.00	4.00	4.00
Moda	3.00[a]	4.00	4.00
Desviación estándar	0.853	0.793	0.793
Percentil 75	5.00	5.00	5.00

Fuente: *Elaboración propia*

Se evidencia una percepción positiva entre los expertos, con una mediana de 4.00 en todos los elementos evaluados. Si bien los mecanismos de protección de activos intangibles y la estrategia de relacionamiento muestran una media de 4.08 con una menor variabilidad, con una desviación estándar de 0.793, el procedimiento de integración presenta una mayor dispersión con una desviación de 0.853 y una moda de 3.00, lo que sugiere una diferencia en las opiniones respecto a su ejecutabilidad operativa. No obstante, el hecho de que el percentil 75 alcance el puntaje máximo de 5.00 en la totalidad de los ítems ratifica la confianza generalizada de los expertos.

Figura 18. Resultados iniciales dimensión de viabilidad institucional.





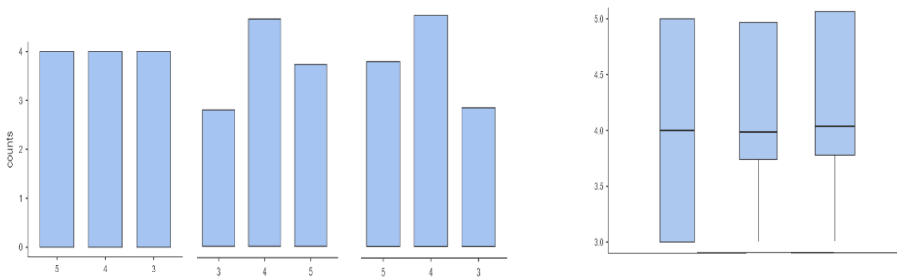
Fuente. Autora a partir de los resultados.

- Procedimiento de integración (4.0/5.0): El consenso apunta a que la ruta crítica definida es ejecutable dentro de la estructura jerárquica existente. El Jefe de Doctrina Conjunta (5/5) sostiene que el procedimiento "respeta la cadena de mando y los protocolos administrativos", lo cual es un factor determinante para su adopción. Sin embargo, se advierte que la eficacia depende de la comunicación fluida entre dependencias. El Jefe del Centro de Investigación Regional (3/5) recalca que "el éxito requiere una coordinación interinstitucional eficiente" para evitar que el procedimiento se convierta en un proceso puramente burocrático.

- Propiedad Intelectual y Control Jurídico (4.08/5.0): Este componente es visto como una salvaguarda necesaria. El Gestor de Investigación del Departamento del Ejército (5/5) enfatiza que estos mecanismos "aseguran que los activos intangibles de la Fuerza se preserven y puedan ser utilizados estratégicamente". No hay discrepancias significativas sobre la necesidad de esta protección, siendo valorada como un estándar de profesionalización indispensable para cualquier proceso de transferencia de tecnología.

- Estrategia de relacionamiento (4.08/5.0): Finalmente, la red de actores (Escuelas-GSED-Unidades) es percibida como realista. Los expertos concuerdan en que esta estrategia es la que permite convertir la investigación en capacidad instalada. Reflexiones del Jefe de Doctrina Conjunta (5/5) y otros expertos de alto nivel coinciden en que la estrategia "promueve una cultura de trabajo colaborativo", esencial para que el modelo no sea una propuesta aislada, sino una política institucional.

Figura 19. Diagrama de cajas e histograma dimensión de viabilidad institucional.



Fuente. Autora a partir de los resultados con Jamovi 2.7.34.

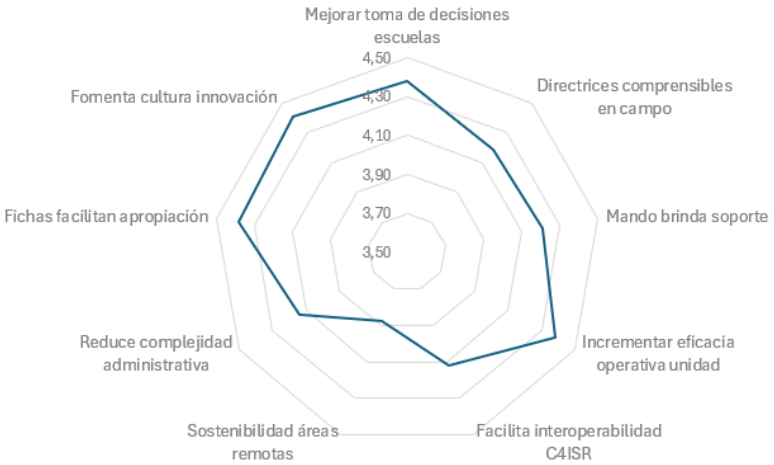
Se observa una valoración positiva y un alto nivel de consenso entre los expertos. A diferencia de los resultados previos, la distribución de las respuestas de esta categoría se concentra casi exclusivamente en el rango superior (entre 4.0 y 5.0), con medianas sólidas en 4.0. Esto indica que los expertos coinciden en que el modelo no solo facilita la colaboración y la eficiencia operativa, sino que cuenta con una alta capacidad de escalabilidad y adaptabilidad en contextos de defensa, consolidándose como uno de los aspectos mejor evaluados y con menor variabilidad de opinión dentro de todo el instrumento

Este análisis permite concluir que el modelo de validación es percibido por el panel como una herramienta técnica y organizacionalmente sólida, donde la mayor fortaleza radica en su alineación normativa y la estructura lógica de sus métricas, mientras que el mayor desafío para su implementación efectiva reside en la gestión del cambio cultural y la agilidad de los procedimientos administrativos.

Hallazgos de la aplicación de la Encuesta.

La evaluación realizada por los 58 oficiales arroja una tendencia favorable, consolidando la validez operativa del modelo. La consistencia en los resultados cuenta con medias que oscilan mayoritariamente por encima de 4.0 en la escala Likert asignada, denota una alta cohesión en la percepción de los actores institucionales.

Figura 20. Diagrama de radar de la encuesta aplicada.



Fuente. Autora a partir de los resultados.

Impacto Operativo y Toma de Decisiones

En cuanto a la mejora en la toma de decisiones en las escuelas, los resultados muestran una media de 4.22, una moda de 5 y una desviación estándar de 0.82, lo que resulta en un coeficiente de variación de 19.4%. Este valor indica una percepción homogénea y positiva: los oficiales validan que la transferencia tecnológica debe iniciarse desde las aulas para profesionalizar el juicio estratégico. Cualitativamente, esto refuerza que el modelo es visto como un mecanismo para acortar la brecha entre la teoría académica y las exigencias del conflicto moderno.

Tabla 15. Estadísticos categoría Impacto Operativo y toma de decisiones.

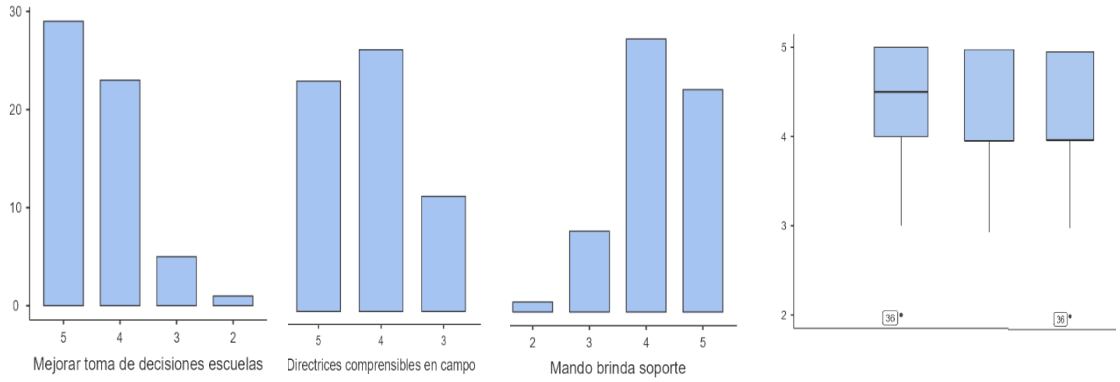
Estadísticos	Mejorar toma de decisiones escuelas	Directrices comprensibles en campo	Mando brinda soporte
Media	4.38	4.19	4.21
Error est. media	0.0947	0.0967	0.0976
Mediana	4.50	4.00	4.00
Moda	5.00	4.00	4.00
Desviación estándar	0.721	0.736	0.744
Percentil 25	4.00	4.00	4.00
Percentil 75	5.00	5.00	5.00

Fuente. Autora a partir de los resultados.

Se evidencia percepción altamente positiva y consistente entre los expertos, consolidándose una mediana de 4.00 en todos los indicadores evaluados. Si bien los mecanismos de protección de activos intangibles y la estrategia de relacionamiento institucional muestran una valoración media superior (4.08) con una menor variabilidad, reflejada en una desviación estándar de 0.793, el procedimiento de integración bajo la estructura de la Fuerza presenta una ligera mayor dispersión en las respuestas (desviación estándar de 0.853) y una moda de 3.00, lo que sugiere un mayor matiz en las opiniones respecto a su ejecución operativa. No obstante, el hecho de que el percentil 75 alcance el

puntaje máximo de 5.00 en la totalidad de los ítems ratifica la confianza generalizada de los expertos en la viabilidad y la estructura del modelo propuesto.

Figura 21. Histograma y diagrama de cajas respuestas Impacto Operativo y Toma de decisiones.



Fuente. Autora a partir de los resultados con Jamovi 2.7.34.

Respecto al incremento de la eficacia operativa de la unidad, se obtuvo el indicador más sólido del estudio: una media de 4.28, moda de 5, desviación estándar de 0.76 y un coeficiente de variación del 17.8%. Este nivel de baja dispersión evidencia un consenso institucional robusto; el personal operativo identifica una correlación directa entre el modelo y la optimización de sus capacidades. Se concluye que la eficacia no se percibe como un concepto abstracto, sino como el resultado tangible de integrar tecnología pertinente al entorno.

En relación con la facilidad de interoperabilidad de los sistemas C4ISR, la media es de 3.95, con una moda de 4 y un coeficiente de variación del 20.5%. Aunque el resultado es favorable, la dispersión moderada refleja una cautela técnica propia de quienes operan sistemas legados y modernos. Cualitativamente, los oficiales reconocen el valor de la interoperabilidad, pero enfatizan que el éxito del modelo depende de la capacidad técnica de integrar los nuevos desarrollos con las infraestructuras de comunicación ya existentes.

Usabilidad, Apropiación y Gestión del Cambio

Sobre la comprensibilidad de las directrices en campo, se obtuvo una media de 4.05, moda de 5, desviación estándar de 0.85 y un coeficiente de variación del 21.0%. Este resultado valida la estrategia comunicativa del modelo; los oficiales confirman que la reducción de complejidad en los manuales facilita la aplicación efectiva en operaciones. La moda de 5 sugiere que, ante directrices claras, la adopción tecnológica es viable.

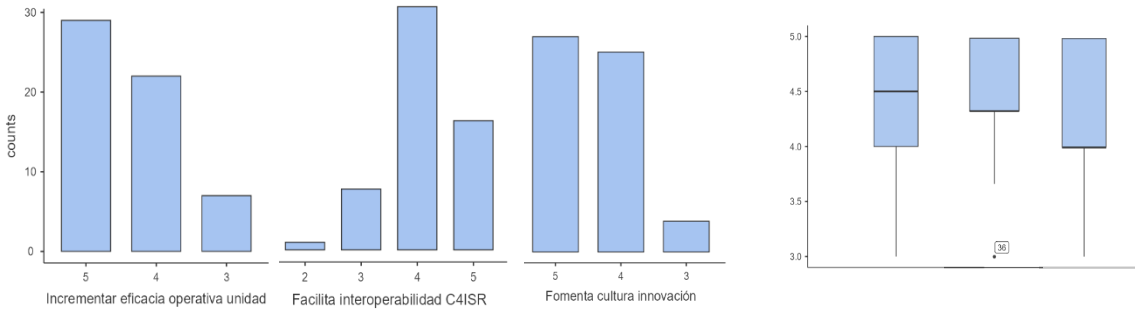
Tabla 16. Estadísticos categoría apropiación y Gestión de cambio.

Estadísticos	Incrementar eficacia operativa unidad	Facilita interoperabilidad C4ISR	Fomenta cultura innovación
Media	4.38	4.12	4.41
Error est. media	0.0915	0.0923	0.0817
Mediana	4.50	4.00	4.00
Moda	5.00	4.00	5.00
Desviación	0.697	0.703	0.622
Percentil 25	4.00	4.00	4.00
Percentil 75	5.00	5.00	5.00

Fuente. Autora a partir de los resultados.

En cuanto a la reducción de la complejidad administrativa, la media es de 3.98, con una moda de 4 y un coeficiente de variación del 22.9%. Esta variable presenta la mayor dispersión, lo que evidencia que la percepción sobre la agilidad institucional es desigual. Si bien el modelo es visto como una mejora, las respuestas cualitativas sugieren que el personal aún percibe fricciones burocráticas, indicando que el modelo de transferencia debe estar acompañado de una flexibilización de los procesos de adquisición y asignación de recursos dentro de la Fuerza.

Figura 22. Histograma y diagrama de cajas respuestas apreciación y gestión del cambio.



Fuente. Autora a partir de los resultados con Jamovi 2.7.34.

Sobre la utilidad de las fichas para facilitar la apropiación, se registró la mejor puntuación del instrumento: media de 4.38, moda de 5 y el coeficiente de variación más bajo (16.4%). Este dato confirma la hipótesis de que el personal subalterno y operativo responde positivamente a formatos de *micro-learning* y guías visuales. Cualitativamente, se concluye que este es el componente de mayor éxito del modelo, transformando la transferencia de conocimiento de un proceso pasivo a uno de uso directo y funcional.

Sostenibilidad y Soporte Institucional

Respecto al fomento de la cultura de innovación, los resultados muestran una media de 4.24, moda de 5 y un coeficiente de variación del 18.4%. Este hallazgo es fundamental para la validación cualitativa: el modelo es percibido no solo como un protocolo de trabajo, sino como un vector de cambio cultural. El personal militar percibe que el despliegue de esta estrategia institucionaliza la innovación como una competencia necesaria y valorada dentro de su carrera.

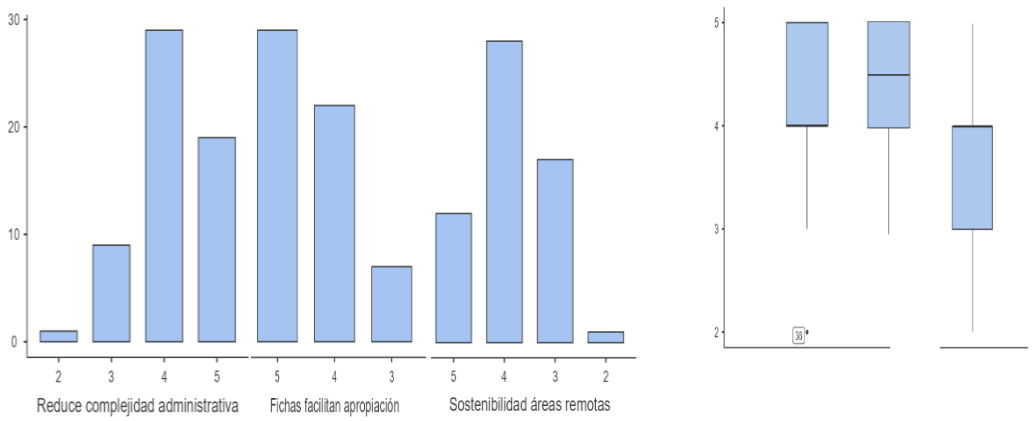
Tabla 17. Estadísticos categoría Sostenibilidad y Soporte Institucional.

Estadísticos	Reduce complejidad administrativa	Fichas facilitan apropiación	Sostenibilidad áreas remotas
Media	4.14	4.38	3.88
Error est. media	0.0967	0.0915	0.0986
Mediana	4.00	4.50	4.00
Moda	4.00	5.00	4.00
Desviación estándar	0.736	0.697	0.751
Percentil 25	4.00	4.00	3.00
Percentil 75	5.00	5.00	4.00

Fuente. Autora a partir de los resultados.

Sobre el soporte del mando institucional, se obtuvo una media de 3.93, moda de 4 y un coeficiente de variación del 21.1%. Los datos sugieren que existe una expectativa positiva pero moderada hacia el respaldo del mando. Cualitativamente, los oficiales argumentan que la sostenibilidad del modelo depende intrínsecamente del liderazgo; la percepción de soporte es lo que garantiza que las tecnologías adoptadas tengan el tiempo y los recursos necesarios para consolidarse, evitando el abandono de los proyectos por falta de continuidad.

Figura 23. Histograma y diagrama de cajas respuestas sostenibilidad y soporte institucional.



Fuente. Autora a partir de los resultados con Jamovi 2.7.34.

Finalmente, sobre la sostenibilidad en áreas remotas, se obtuvo una media de 3.69, moda de 4 y un coeficiente de variación del 21.4%. Aunque es la variable con la calificación más baja, el resultado sigue siendo positivo. La dispersión observada responde a una visión pragmática de la realidad geográfica colombiana; los oficiales reconocen que la tecnología propuesta es adecuada, pero subrayan que su sostenibilidad en el terreno requiere una robustez física superior y una logística de mantenimiento diferenciada, alejándose de los estándares de laboratorio.

En síntesis, el análisis estadístico y cualitativo demuestra que el modelo de transferencia tecnológica posee una viabilidad operativa alta y una aceptación institucional generalizada,

siendo las herramientas de apropiación y el impacto en la eficacia operativa los pilares más fuertes de la propuesta.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación, desarrollada durante el 2025 y primer semestre de 2026, permitió evaluar de manera integral el modelo de transferencia tecnológica para el Ejército Nacional de Colombia mediante un proceso de triangulación metodológica, que contó con la participación de un panel de 14 expertos y una encuesta aplicada a una muestra representativa de 58 oficiales superiores de grados Mayor a Coronel, seleccionados por su experiencia en despliegues operativos y participación en estados mayores. Este tamaño de muestra, aunque focalizado en perfiles estratégicos y decisorios, proporciona una base empírica consistente para las dimensiones evaluadas. No obstante, es imperativo reconocer las restricciones inherentes al entorno militar, el acceso a la información estuvo limitado por estrictos protocolos de seguridad operacional y el carácter reservado de activos estratégicos, planes de despliegue, doctrinas que condicionó el análisis, sin comprometer la validez ni la orientación estratégica del modelo propuesto.

Respecto a las variables que inciden en la elaboración de marcos metodológicos, se concluyó que los enfoques tradicionales centrados exclusivamente en la madurez técnica (TRL) resultan insuficientes para el contexto militar. La investigación demostró que el diseño de un modelo de transferencia para el Ejército Nacional no debe limitarse a una estructura lineal de innovación, sino concebirse como un sistema adaptativo donde convergen variables técnicas, doctrinales y organizacionales. Se determinó que es imperativo integrar variables como el Nivel de Madurez de Integración (IRL) y la Capacidad de Absorción, resaltando la habilidad de la Fuerza para asimilar, adaptar y operacionalizar el conocimiento científico. Esta identificación de variables constituye el elemento estratégico que permite

transitar desde la dependencia tecnológica externa hacia la construcción de una soberanía tecnológica, alineando los esfuerzos de I+D+i con las exigencias operacionales reales.

Es importante resaltar que el marco teórico-metodológico adoptado que incluye la combinación de métricas TRL, IRL y MRL bajo el enfoque de ecosistemas posee una validez extrapolable a otras fuerzas militares y unidades del sector defensa; estos conceptos pueden ser replicados por otros ejércitos de la región o instituciones de seguridad pública con estructuras jerárquicas similares que busquen procesos de modernización tecnológica.

La adopción de un enfoque de Cuádruple Hélice, con la inclusión del usuario operacional como eje central, resultó ser la solución más adecuada para cerrar la brecha entre los grupos de investigación de las escuelas y las unidades tácticas. Este modelo, a diferencia del anterior, presenta hallazgos de especificidad contextual; su éxito radica en la articulación directa con los lineamientos estratégicos propios del PETEF 2042 y la Política de CTeI 2024, diseñados para la realidad operativa del Ejército Nacional de Colombia. Este modelo actúa como un articulador que garantiza la coherencia con las realidades de la guerra moderna.

La puesta en marcha efectiva del modelo depende críticamente de la superación de las barreras culturales y de la brecha de competencias digitales existentes en la Fuerza. La estrategia diseñada, centrada en talleres de cocreación y herramientas de comunicación, valida la necesidad de un enfoque de aprendizaje organizacional que priorice el aprendizaje vivencial. Este componente es determinante para elevar la capacidad de absorción realizada de la institución; sin una intervención formativa que traduzca el lenguaje complejo de la ciencia aplicada a un lenguaje táctico y funcional, la innovación permanece aislada. Por tanto, la apropiación del modelo es un proceso de gestión del cambio cultural que requiere un compromiso explícito desde el mando para convertir a los usuarios finales en agentes activos de innovación.

La triangulación de resultados entre el panel de expertos y la muestra operativa ratifica que el modelo propuesto es técnica, doctrinal y operativamente viable para ser integrado al Plan Estratégico de Transformación Digital. Los niveles de aceptación observados, con

coeficientes de variación que demuestran una percepción homogénea y positiva, confirman que existe una madurez institucional preparada para la adopción de este marco, esto permite concluir que el modelo no solo cuenta con la solidez académica, sino que posee la pertinencia requerida por el mando, siendo una herramienta habilitadora para mejorar la toma de decisiones, la eficacia en el teatro de operaciones y la sostenibilidad logística en áreas remotas.

Se recomienda al Comando de Educación y Doctrina (CEDOC) formalizar la creación de un repositorio de Innovación táctica que alimente el Sistema de Ciencia y Tecnología del Ejército. Es necesario que la Fuerza institucionalice la captura, curaduría y difusión de las lecciones aprendidas y los prototipos validados en campo. Académicamente, esto implica que las escuelas de formación deben operar nodos de un ecosistema donde la producción científica sea retroalimentada por un sistema que identifique qué desarrollos tienen potencial de escalabilidad operacional. Esto permitiría convertir el conocimiento tácito de los oficiales en campo en un activo intangible explícito, protegido y reutilizable, evitando la pérdida de información ante los relevos del personal y los ciclos de mando.

La Dirección de Ciencia y Tecnología (DITEC) o el COATE, podría crear una unidad técnica que funcione como oficina de transferencia tecnológica. Toda vez que el modelo propuesto provee la arquitectura del proceso, pero la implementación requiere una capacidad jurídica y administrativa para gestionar los convenios de offsets, el licenciamiento de patentes y la negociación de propiedad intelectual con proveedores extranjeros y socios locales. Esta oficina tendría el rol de articular los centros de investigación y la industria (GSED), para lo cual se requiere dotarla de competencias específicas para la valoración financiera de activos tecnológicos y la gestión de riesgos legales, asegurando que los acuerdos de transferencia tecnológica se conviertan en ventajas competitivas reales.

Se recomienda al mando implementar laboratorios experimentales de tecnología de uso dual que permitan la experimentación ágil de tecnologías emergentes en condiciones controladas de alta fidelidad, con un régimen de adquisición y pruebas aceleradas que se desmarque de los ciclos de compra tradicionales de la Fuerza. Esta recomendación busca que, antes de una adquisición masiva o un despliegue operacional total, la Fuerza pueda

testear la interoperabilidad técnica y doctrinal de tecnologías en un entorno militar simulado, reduciendo drásticamente el riesgo técnico y financiero.

Finalmente, para dar continuidad a la hoja de ruta investigativa, se recomienda priorizar futuras investigaciones en tres campos clave: primero, el desarrollo de marcos éticos y regulatorios para la gobernanza de Inteligencia Artificial (IA) en sistemas autónomos, garantizando el estricto cumplimiento del Derecho Internacional Humanitario; segundo, la optimización de la interoperabilidad de los sistemas C4ISR bajo condiciones de conectividad crítica en geografías complejas; y tercero, la evaluación del impacto socioambiental de las tecnologías de defensa a largo plazo, enfocándose en la logística verde y la gestión de residuos tecnológicos, con el objetivo de robustecer el Coeficiente de Sostenibilidad propuesto en este estudio.

8. REFERENCIAS

Arocena, R. &. (2020). *Innovación y poder en la periferia.* CLACSO - CONFERENCIA LATINOAMERICANA Y CARIBEÑA DE CIENCIAS SOCIALES.

Cai, Y., & Etzkowitz, H. (2020). Theorizing the Triple Helix model: Past, present, and future. *Triple Helix, 7(2-3)*, 189-226. doi:https://doi.org/10.1163/21971927-bja10003

Carayannis, E. B. (2012). The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. *J Innov Entrep 1, 2*. doi:https://doi.org/10.1186/2192-5372-1-2

Castro, J., Rocca, L., & Ibarra, A. (2009). Capacidad de absorción y formas de aprendizaje para la innovación: un modelo conceptual. *Proyéctica*, 63-76.

CESEDEN. (2007). *Tecnología y Fuerzas Armadas.* Madrid, España: Ministerio de Defensa de España.

Chesbrough, H. W. (2003). Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. *Harvard Business Press.*

CODALTEC. (2023). *Informe anual de investigación y desarrollo. Corporación de Alta Tecnología para la Defensa. .* Bogotá.

Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly, 35 (1)*, 128-152.

Comisión Europea. (2022). Recomendación del consejo sobre los principios rectores para la valorización del conocimiento. *Bruselas, 9.8.2022*.

Corzo-Ussa, G. D.-A.-M. (2022). *La industria 4.0 y sus aplicaciones en el ámbito militar: Oportunidad estratégica para Latinoamérica.* Bogotá: Revista Científica General José María Córdova, 20(39), 717–736.

DARPA. (2019). *The Advanced Plant Technologies (APT) program. Defense Advanced Research Projects Agency.* Arlington, Virginia, Estados Unidos.: https://www.darpa.mil/work-with-us/communities/defense-government.

Davis, F. B. (1989). User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models. . *Management sciences, 35(8)*, 983-1003. .

Díaz, E., Gleason, J., & García, R. (2024). MODELO DE LA QUÍNTUPLE HÉLICE Y METODOLOGÍAS PARTICIPATIVAS APLICADAS EN EL DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN MÉXICO. *Revista científica multidisciplinar (8),4*.

Dombrowski, P. (2022). *Military innovation in small states.* Routledge.

Fojón, E. (2022). *Estrategia de defensa nacional de EEUU: Lecciones de innovación.* A30 Política - Defensa.

Fuerza Aeroespacial Colombiana. (2023). *Plan estratégico de tecnologías de la información y comunicaciones (PETIC).* Bogotá: Fuerza Aerea Colombiana.

Giroux, H. (1997). .La pedagógia de frontera y la política del postmodernismo. *Revista Intringulis*(6), 96.

Infante, C. (2010). *Guía para la presentación de proyectos de investigación.* Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

ISO. (2019). Gestión de la innovación: Sistemas de gestión de la innovación - Norma ISO 56002:2019. *Organización Internacional de Normalización.* .

ISO. (2021). Gestión de proyectos, programas y portafolios: Guía para la gestión de proyectos (Norma ISO 21502:2021). *Organización Internacional de Normalización*.

Londoño, J., Velásquez, S., & Villa, M. (2018). Identificación de tipos, modelos y mecanismos de transferencia tecnológica que apalancan la innovación. *Cintex 23*.

López G., M. d., Mejía C., J. C., & Schmal S., R. (2006). Un Acercamiento al Concepto de la Transferencia de Tecnología en las Universidades y sus diferentes manifestaciones. *Panorama Socioeconómico. Universidad de Talca*, 70-81.

Margalef, L., & Arenas, A. (2006). ¿Qué entendemos por innovación Educativa? A proposito del desarrollo curricular. *Perpectiva Educacional, 1*(47), 13-31.

Mindefensa. (2023). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Defensa.* Bogotá: https://www.mindefensa.gov.co.

Ministerio de ciencia y tecnología. (2022). *Guía para la transferencia de tecnología .* Bogotá: Ministerio de ciencia, tecnología e innovación.

Ministerio de Defensa Nacional. (2021). *Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (PETIC).* Bogotá: Ejército Nacional de Colombia. Ejército Nacional de Colombia. .

Montag, C., Kraus, J., Baumann, M., & Rozgonjuk, D. (2023). The propensity to trust in (automated) technology mediates the links between technology self-efficacy and fear and acceptance of artificial intelligence. *Computers in Human Behavior Reports. Volume 11*, ISSN 2451-9588. doi:doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100315.

Montero M, A. (2020). *El Ejército Nacional: 200 años de transformaciones y retos.* Bogotá: Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, 2020.

NATO. (2023). Agenda 2030: Tecnologías emergentes para la defensa colectiva. . *https://www.nato.int*.

NATO. (2024). *Emerging and disruptive technologies.* Brucelas.

NATO. (2025). *Estrategia de Tecnologías Emergentes y Disruptivas 2025-2040. .* Bruselas: NATO Communications Agency.

North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance.* EEUU: Cambridge University Press. .

O'Hanlon, M. (2019). *The Role of Emerging Technologies in Modern Warfare.* Washington: Brookings Institution Press.

OCDE. (2021). OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2021 TIMES OF CRISIS AND OPPORTUNITY. *OECD Publishing*. doi:https://doi.org/10.1787/75f79015-en.

Pérez Molina, A. (2012). Hacia una nueva cultura empresarial: La transferencia tecnológica y de conocimiento. *3ciencias*, 1-18.

PMI®. (2021). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos - PMBoK 7th Edición . *Project Management Institute*.

PMI®. (2025). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos 8th Edición. *Project Management Institute*.

RAND Corporation. (2022). Annual Report 2022. *The Rand Corporation*.

RAND Corporation. (2022). *Measuring ROI in defense innovation.* https://www.rand.org .

Real Instituto Elcano. (2023). *Desarrollos tecnológicos militares frente a nuevos conceptos operativos.*

Restrepo R, D. (2024). Mejora de la eficiencia y seguridad en las Fuerzas Militares colombianas mediante robótica y automatización. *Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"*, 38.

Rodríguez, J., & Fernandez de Navarrete, F. (2012). *La transferencia de tecnología en España. Diagnóstico y perspectivas.* Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

Roman, M. V. (2020). Quadruple Helix Models for Sustainable Regional Innovation: Engaging and Facilitating Civil Society Participation. . *Economies, 8(2)*, 48. doi:https://doi.org/10.3390/economies8020048

Romero-Sánchez, D., & Barrios, D. (2023). Modelo de aceptación tecnológica en los canales digitales para la adquisición de productos agrícolas frescos. *Revista CEA*. doi:10.22430/24223182.2553

Roselli, N. (2011). Teoria del aprendizaje colaborativo y la teoria de la repesentación social: convergencias y posibles articulaciones. *Revista colombiana de Ciencias Sociales, 2*(2), 173-191.

Rubinato, N. (2025). *Radar productive*. Obtenido de Mayor confianza en la tecnología y la automatización: https://radardeprodutividade.com.br/es/mayor-confianza-en-la-tecnologia-y-la-automatizacion/

Sauser, B., & Otros. (2008). A System Maturity Index for the Systems Engineering Life Cycle. *International Journal of Industrial and Systems Engineering, 3*(6). doi:10.1504/IJISE.2008.020680

Schmidt, E. (2020). *The age of AI: And our human future .* London: Hachette UK.

Slavin, R. (2002). *Aprendizaje cooperativo: Teoria, investigación y práctica.* AIQUE.

Teece, D. J., & Pisano, G. P. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic management journal*, 509-533.

U.S Department of Defense. (2024). *Informe sobre tecnologías emergentes en defensa.* Washington.

UNESCO. (2021). Competencias y habilidades digitales. Obtenido de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380113.locale=en

UNESCO. (2022). The ICT Competency Framework for Teachers Harnessing OER Project: digital skills development for teachers. Obtenido de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383206

UNESCO. (2026). Marco de competencias para docentes en materia de IA. Obtenido de https://www.unesco.org/es/articles/marco-de-competencias-para-docentes-en-materia-de-ia

Von Hippel, E. (1991). Democratizing Innovatión. *The MIT Press*, Massachusetts Institute of Tecnology.

WIPO. (2020). *Knowledge and Technology Transfer.* Ginebra, Suiza.

Yu, J., Wahls, R., Esker, B., & Otros. (2021). Total Technology Readiness Level: Accelerating Technology Readiness for Aircraft Design. *NASA Research Center*. Obtenido de https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210015639/downloads/AIAA%20Total%20Technology%20Readiness%20Level%20Paper%20Final.docx.pdf