



Revista UIS ingenierías

ISSN: 1657-4583

ISSN: 2145-8456

Universidad Industrial de Santander

Morales-Herrera, Jeisson; Espitia-Cubillos, Anny; Agudelo-Calderón, Jairo  
Modelo de priorización para gestionar inversión en  
innovaciones tecnológicas por parte del ejército colombiano  
Revista UIS ingenierías, vol. 20, núm. 2, 2021, Abril-Junio, pp. 11-30  
Universidad Industrial de Santander

DOI: <https://doi.org/10.7440/res64.2018.03>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553770380002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

UAEM [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

# Modelo de priorización para gestionar inversión en innovaciones tecnológicas por parte del ejército colombiano

## Prioritization model to manage investment in technological innovations by the colombian army

Jeisson Morales-Herrera <sup>1a</sup>, Anny Espitia-Cubillos <sup>1b</sup>, Jairo Agudelo-Calderón <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación Producción, innovación y tecnología, Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Orcid: <sup>a</sup> 0000-0002-6877-7065, <sup>b</sup> 0000-0002-4791-0250

Correos electrónicos: <sup>a</sup> u2903132@unimilitar.edu.co, <sup>b</sup> anny.espitia@unimilitar.edu.co

<sup>2</sup> Grupo de investigación (ESCAB) THOT, Escuela de Caballería, Ejército Nacional, Colombia. Orcid: 0000-0002-6331-7190. Correo electrónico: jairo.agudelo@buzonejercito.mil.co

Recibido: 12 junio, 2020. Aceptado: 15 diciembre, 2020. Versión final: 2 enero, 2021.

### Resumen

Para el Ejército Nacional de Colombia la gestión de sus recursos en materia de tecnología es un tema de vital importancia, pues contribuye al buen desarrollo de la fuerza militar. El objetivo de este estudio es proponer un método matemático que permita a la institución la selección, de manera jerárquica y objetiva, de propuestas de innovaciones tecnológicas, esta priorización es presentada al Ministerio de defensa para el estudio de la inversión en función del presupuesto nacional. El modelo propuesto toma como base dos heurísticas utilizadas en evaluación de tecnología, dichos métodos son: la comparación por pares y el análisis de la Matriz de Eisenhower, el modelo consiste en organizar las propuestas de inversión de innovaciones tecnológicas de mayor a menor de acuerdo a diversos criterios de ponderación, considerando en última instancia su costo; esta priorización se logra a través de parámetros de decisión detallados en la metodología propuesta que tiene como ventajas: estandarizar el proceso y la eliminar posibles sesgos.

**Palabras clave:** innovación tecnológica; fuerzas militares; priorización; ponderación; modelo matemático; método objetivo; gestión; inversión; ejército; recursos limitados; estudio de inversión; heurísticas.

### Abstract

To the national Colombia Army, the management of its resources in technology is a topic of vital importance since it contributes to the proper development of the military force. The objective of this study is to propose a mathematical method that allows the institution to select, in a hierarchical and objective manner, proposals for technological innovations, this priority is to be presented to the Defense Ministry for the investment study based on the national budget. The proposed model is based on two heuristics used in technology evaluation, these methods are: the comparison by pairs and the analysis of the Eisenhower Matrix, the model consists in organizing the proposals of investment of technological innovations from major to minor according to various weighting criteria, ultimately considering its cost; this prioritization is achieved through decision parameters detailed in the proposed methodology, which has the following advantages: standardizing the process and eliminating possible biases.

**Keywords:** technological innovations; military forces; prioritization; weighting; mathematical model; objective method; management; investment; army; limited resources; investment study; heuristics.

ISSN impreso: 1657 - 4583. ISSN en línea: 2145 - 8456, CC BY-ND 4.0 

Como citar: J. Morales-Herrera, A. Espitia-Cubillos, J. Agudelo-Calderón, "Modelo de priorización para gestionar inversión en innovaciones tecnológicas por parte del ejército colombiano," *Rev. UIS Ing.*, vol. 20, no. 2, pp. 11-30, 2021, doi: [10.18273/revuin.v20n2-2021002](https://doi.org/10.18273/revuin.v20n2-2021002)

## 1. Introducción

Las innovaciones pueden entenderse como fuente de desarrollo nacional, así un país líder en innovación es aquel que aplica gestiones públicas eficaces con base en su propia realidad, y no aquel que implementa políticas de innovación de otros países [1]. Los países desarrollados, son pioneros en innovación en valor y esta a su vez, es utilizada como ventaja competitiva en la solución a múltiples problemas, una nación prospera es aquella que pone en práctica la alta productividad de sus recursos humanos, naturales y capitales físicos [2].

El inconveniente de los países seguidores es que se limitan a adaptar innovaciones creadas a partir de situaciones ajenas, economías emergentes o simplemente transferencias tecnológicas, mientras que un país líder genera políticas de gestión de innovación enfocadas a recursos externos aplicables a situaciones internas, sin restarle importancia al recurso humano como fuente principal de innovación [3]. Lo anterior, indica que cada país debe generar políticas de innovación de acuerdo con su propio contexto, esta gestión se ve reflejada en todas las ramas del poder, lo que se busca en este artículo, es mostrar esta proyección en la adecuada gestión de los recursos de innovación en la fuerza militar descrita.

De otro lado, en distintas situaciones empresariales, institucionales y personales, el hombre se ha visto en la necesidad de tomar decisiones que influyen significativamente en los resultados del contexto, el riesgo de estas decisiones está asociado a la incertidumbre de su resultado en el futuro, pues puede cambiar y alterar lo planeado. Rueda y Peris entienden a la incertidumbre como una limitante donde, en varias ocasiones, no se puede realizar suposiciones sobre las condiciones futuras en las que se desenvolverán las elecciones evaluadas [4]. Esta incertidumbre también se presenta en contextos donde se debe tomar decisiones sobre si invertir o no en la adquisición y/o desarrollo de innovaciones tecnológicas que le permitan al Ejército Nacional Colombiano fortalecer el sector defensa y estar a la vanguardia de la tecnología. La innovación en cualquier organización, si es gestionada con control y enfoque estratégico, puede ayudar a reducir dicha incertidumbre. De manera que, si desde la dirección se toma como un proceso de alta importancia, esta debe ser acompañada de pasos determinados y controlados para medir su rendimiento [5].

Las tecnologías de vanguardia no se pueden valorar con base en resultados, pues las creaciones de muchos recursos militares son orientadas a campos de localización y contexto específicos, la anterior es una de

las varias razones por las que algunas tecnologías no son viables para el territorio y contexto colombiano. Estas dos variables, la incertidumbre de la decisión y la adaptación de la adquisición de innovaciones tecnológicas para el ejército colombiano, son propiamente parte del planeamiento estratégico de una organización, donde el análisis racional del contexto interno y externo es natural a un determinado diagnóstico, permitiendo fijar objetivos, tácticas, técnicas con un enfoque estratégico [6].

La adaptación de adquisición de innovaciones tecnológicas que favorezcan el sector defensa ha venido adquiriendo un peso mayor en las prioridades de los estados a través de la última década, como es el caso de la transformación tecnológica del ejército brasileño, donde los estudios lograron la identificación de parámetros para la formulación de paradigmas tecnológicos que suplieran las demandas del proceso de transformación de este ejército [7]. El tema no solo se limita a fuerzas militares, sino también está asociado con el sector privado, por ejemplo, la propuesta efectiva presentada en Cuba sobre la contribución metodológica a la gestión de la adquisición de tecnología en el mencionado país, basada en el método Delphi con el complemento del aplicativo; Project-Expertos, cuyo objetivo se compromete en lograr una eficaz y exitosa negociación de la transferencia de tecnología y favorecer el desarrollo tecnológico en las empresas cubanas [8].

Considerando que las innovaciones militares brindan herramientas eficaces para el cumplimiento de las misiones estratégicas, estudios como [9] señalan como áreas fuertes en innovaciones tecnológicas militares: defensa, comunicación, entrenamiento y logística militar e identifican como países pioneros en innovación tecnológica a Rusia, Estados Unidos y China, gracias a contar con capital humano y económico.

Actualmente, Colombia es un país seguidor de innovación no generador de la misma [8]. Para que el país mejore su innovación tecnológica a nivel militar es necesario fortalecer el vínculo entre la academia, el estado y el sector militar, de manera que este trabajo cooperativo permita obtener mejores resultados, para ello se precisa conocer cuál o cuáles son los proyectos relacionados con innovaciones tecnológicas más importantes para su selección, por lo que requiere contar con un modelo que permita priorizar las opciones que se presentan al Ministerio de defensa, considerando que se tiene condiciones de recursos económicos limitados para su adquisición y/o desarrollo.

El objetivo de este estudio es proponer un método matemático práctico que permita al Ejército Nacional de Colombia la selección y jerarquización objetiva, de propuestas de innovaciones tecnológicas, dicha priorización, posteriormente, se presenta ante el Ministerio de defensa para el estudio de la inversión en función del presupuesto nacional.

Adicionalmente, el modelo de priorización presentado tiene como ventaja lograr la estandarización del proceso y la eliminación de posibles sesgos que, de otro modo, podrían dar lugar a favorecimientos.

El presente documento parte de una introducción en donde se contextualiza al lector sobre la importancia de las innovaciones tecnológicas a nivel general y en particular para el sector defensa, las implicaciones de tomar decisiones en condiciones de incertidumbre y la necesidad de contar con un modelo de priorización. En segundo lugar, se presenta el método de desarrollo del modelo. Posteriormente, se muestran los resultados, que en este caso corresponden al Modelo de priorización propuesto para gestionar inversión en innovaciones tecnológicas por parte del Ejército Colombiano y cada una de sus etapas. Finalmente, se muestran las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

## 2. Revisión de la literatura

Existen distintas herramientas para la selección de tecnologías con distintos enfoques como lo es método de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua – SelTec, este modelo permite estimar costos de inversión inicial, de operación y mantenimiento, para las diferentes opciones tecnológicas utilizadas actualmente en Colombia [6]. También, se encuentra el PMTD, por sus siglas (Proceso Militar para la Toma de Decisiones), el cual es un proceso mediador de carácter metodológico entre la situación humana y la concentración de conocimiento, involucrando la operación y gestión de información para toma de decisiones de carácter militar [7]. Sin embargo, este último no garantiza aciertos operacionales como resultado de la incertidumbre, pues el autor afirma que no todo está controlado, y estas decisiones tienen un enfoque generalizado a las medidas de carácter netamente militar. Otro de los métodos reportados en la literatura, es el método Datum o Pugh el cual fue aplicado para medir su eficiencia en la selección de tecnologías biomédicas, esta elección de la técnica para los autores se indicó por ser flexible, donde se pueden asignar sus parámetros de evaluación y no necesita de ponderaciones ni asignaciones numéricas [8].

El desarrollo del presente documento tiene presente el enfoque constante de valoración tecnológica caracterizado por ser normalmente transaccional, estático y sobre todo corresponder a diferentes métodos, técnicas y modelos [9].

Un elemento en común es la famosa metodología AHP, metodología aplicada por la Armada Nacional Colombiana, propuesta por L. Serrano, para selección óptima del buque de desembarco anfibio [10].

La comparación por pares AHP, por sus siglas Analytic Hierarchy Process [11], permite realizar juicios de valor objetivos en concordancia con los criterios establecidos, el AHP también es uno de los métodos más utilizados en la actualidad por quienes desean establecer juicios cuantitativos sobre propuestas tecnológicas, este modelo, se ha utilizado también con la variación AHP difuso el cual permite aumentar la objetividad del juicio a partir de la importancia relativa de los criterios de comparación [11].

El AHP es un Análisis Jerárquico de Procesos que permite tomar adecuadas decisiones cuando son influidas por criterios o factores [12]. Esta metodología fue desarrollada por el matemático Thomas Saaty a finales de los años 60 y actualmente constituye una de las principales herramientas para los procesos de toma de decisión. El fundamento matemático del AHP está basado en la comparación por pares, ordenados por importancia en función de un criterio representado en una jerarquía de decisión, jerarquía que el evaluador propone según su criterio [13].

La ponderación de asignación de puntos para subcriterios es una metodología creada para poder definir la relación de los subcriterios de cada criterio con la alternativa, esta relación está dada por la asignación de puntaje, donde el 3 es el más alto y 0 es un puntaje nulo, la sumatoria de esta asignación de puntos de los subcriterios de un criterio específico será el factor para el producto del criterio específico con el peso que tenga esté, peso definido por la comparación por pares por el AHP, la sumatoria de estos productos permite la ponderación de criterios. Al final, se realiza una comparación por pares para las categorías hábiles, para luego tener una ponderación definitiva, donde interviene el peso de cada categoría y la ponderación de criterios.

Un método semejante es la clasificación de problemas en la matriz de importancia y urgencia de Eisenhower, este determina y filtra las necesidades considerando si son importantes y/o urgentes, esta técnica fue propuesta y puesta en marcha por el presidente de Estados Unidos, Dwight Eisenhower, quien la aplicaba en el ámbito militar [14].

Todos los proyectos de innovación que se deseen implementar en fuerzas militares deben tener bases de estudios sociales, doctrinales y tecnológicos. Estas investigaciones y prácticas deben ser propiciadas por equipos y organizaciones que se orienten a una efectiva satisfacción de las necesidades del sector defensa [11]. También, las innovaciones tecnológicas, deben suplir y tener en cuenta aspectos ambientales de combate, humanos, políticos y organizacionales, de manera que contribuyan a una adaptación organizativa e institucional [12].

En la evaluación de innovaciones, se estudia la revisión de activos tecnológicos señalando se deben implementar metodologías que comprendan la inclusión de variables, como el conocimiento, el desarrollo tecnológico y otros insumos contextuales del ámbito de estudio para determinar el valor de intangibles o tangibles tecnológicos [15].

Es necesario el establecimiento de prioridades en la distribución de los recursos financieros destinados a investigación y el desarrollo que conduzcan a resultados útiles y de impacto social [16].

En Colombia, como estrategia de innovación y conocimiento para propulsar el crecimiento de la industria de software se evalúa la inversión en capacidades de innovación tecnológica, desde la perspectiva sistémica, considerando como variable de salida el comportamiento de las ventas [17]; también se evaluó la inversión y la gestión en innovación en pymes de la ciudad de Popayán con criterios y subcriterios [18]; adicionalmente, se han estudiado las inversiones de las empresas del país en innovación, investigación y desarrollo, y su financiación, mediante un análisis econométrico, donde se destaca la principal fuente (76.3%) son los recursos propios [19]; tradicionalmente, los estudios de inversión usan metodologías que comprenden estudios: de mercado, técnico y económico, que finalmente conducen a una evaluación económica para calcular la rentabilidad del proyecto, modelos que no son aplicables al sector defensa dadas las diferencias fundamentales existentes en los objetivos estratégicos de los sectores entendiendo el Ejército y en general el sector Defensa no tiene un fin económico.

### 3. Metodología

Para consolidar el modelo de priorización se partió de una revisión de la literatura para buscar la forma en que se evalúan los proyectos de inversión en adquisición y/o desarrollo de innovaciones tecnológicas en otros países e industrias. A partir de las temáticas analizadas en la literatura, se pudo identificar que distintos autores

proponen métodos diferentes para valorar innovaciones tecnológicas enfocadas a disímiles dimensiones profesionales, dichos modelos son heurísticas que se acercan a optar por las decisiones más acertadas teniendo en cuenta la incertidumbre de cada campo, de manera que esta revisión permite forjar bases para el modelo propuesto y sus criterios.

En segunda instancia, se llevaron a cabo entrevistas a seis (6) integrantes del cuerpo militar vinculados directamente en los procesos de investigación científica e innovación, con el propósito de comprender el funcionamiento actual del sistema lo que permite contar con un punto de partida para proponer los criterios de decisión, también las entrevistas permitieron identificar la limitación legal que pueden tener algunas innovaciones tecnológicas en el territorio colombiano, a partir de ello se identificó la necesidad de realizar la investigación sobre las normas mínimas legales que debe cumplir cada propuesta, estas normas varían de acuerdo a las categorías de clasificación de las innovaciones adaptadas de las propuestas por [13].

El modelo propuesto inicialmente se estructuró teniendo en cuenta la literatura adyacente al tema de investigación, los aportes de los entrevistados y la definición de innovaciones por categoría adaptada de la propuesta de [9]. De este modo los autores determinaron las herramientas a incluir junto a sus respectivos criterios de evaluación.

Para establecer el peso relativo de cada categoría de innovación, se decidió aplicar encuestas a una muestra de los integrantes del cuerpo militar, los resultados permitieron conocer la importancia de las categorías para el Ejército colombiano, información vital para la jerarquización de las solicitudes de inversión en el desarrollo y adquisición de innovación ante el Ministerio de Defensa. Las encuestas fueron aplicadas a 435 miembros del Ejército, entre septiembre y diciembre de 2019, mediante un formulario de Google, el tamaño de muestra calculado para una población infinita (superior a 100.000 individuos) con un nivel de confianza del 95% corresponde a 383, con las encuestas realizadas se logró reducir el error muestral del 5% al 4,69%.

Finalmente, el modelo de priorización propuesto fue validado mediante juicio de expertos, lo que permitió su refinamiento.

### 4. Resultados

Teniendo en cuenta la necesidad de validez de los métodos en la toma de decisiones estratégicas, se ha señalado un análisis desde el enfoque cualitativo permite

investigar a profundidad diferentes variables del tipo social y cultural que el método cuantitativo no podría contemplar y que a su vez aprueban describir mejor situaciones complejas, de tal manera que la combinación de un método cuantitativo y cualitativo estructura una investigación sustentada en uno de los avances más importantes de los análisis metodológicos [20].

La perspectiva de incluir los métodos cualitativos, en armonía con posibles indicadores cuantitativos, pudiera ser la clave del éxito [16]. Por lo anterior, el desarrollo del presente documento propone una metodología mixta (cualitativa y cuantitativa) para la evaluación de innovaciones tecnológicas para el ejército colombiano, considerando que se afirma se deben implementar metodologías cuantitativas y cualitativas para determinar el valor de intangibles o tangibles tecnológicos [12].

Tras la revisión de la literatura, se identificaron métodos base para el modelo propuesto, fundamentados en la necesidad de contar con evaluaciones objetivas y el análisis de la importancia y urgencia de problemáticas. Con esto en mente, los métodos más acertados y apropiados identificados son: método AHP y Matriz de Eisenhower, los cuales serán parte esencial del Modelo de Priorización para Gestionar la Inversión en Innovaciones Tecnológicas por parte del Ejército Colombiano, por sus siglas MOPGIITEC.

En el MOPGIITEC un “criterio” se entiende como un parámetro de evaluación de la Propuesta de Innovación Tecnológica - PIT, el criterio es útil para el análisis de la propuesta de innovación tecnológica al permitir establecer un juicio para asignar un grado de importancia con respecto a otros criterios, cada criterio contiene unos subcriterios; un subcriterio también es un parámetro de evaluación de la PIT pero con menor importancia. Para facilitar la comprensión de esta jerarquía de evaluación de PIT's, se presenta en la Figura 1 la relación entre una categoría, un criterio y un subcriterio.

MOPGIITEC surge a partir de la necesidad del ejército nacional, de saber cuál o cuáles son las innovaciones tecnológicas importantes para su selección, de manera que permite priorizar las propuestas tecnológicas más viables para que esta fuerza armada gestione su apoyo ante el Ministerio de Defensa, estas propuestas son clasificadas de manera jerárquica descendente según algunas categorías y criterios a evaluar, de manera que según el presupuesto del Ministerio de Defensa, el Ejército Nacional Colombiana - EJC, logre realizar la selección de las mejores innovaciones tecnológicas en medio de la incertidumbre que podría aplicar para el contexto colombiano. Este modelo se sustenta bajo el desarrollo de una investigación con firmeza académica,

donde se combinan metodologías y saberes propios con los ya conocidos como lo son; Analytic Hierarchy Process, AHP, clasificación de problemas por medio de la matriz de Eisenhower y la asignación de puntajes para parámetros.

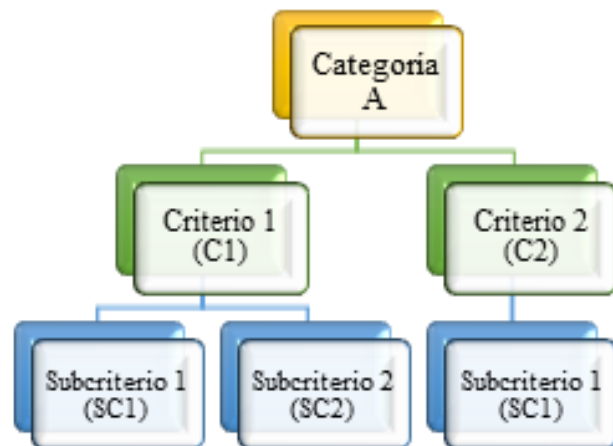


Figura 1. Relación entre parámetros de evaluación.

Fuente: elaboración propia

Uno de los componentes que permiten priorizar y sobre todo filtrar las innovaciones tecnológicas, es el ámbito legal de cada país, este aspecto deber estar presente en este modelo, la identificación de dicha necesidad se realizó mediante la aplicación de entrevistas no formales a algunos uniformados que trabajan en el Comando de apoyo tecnológico del Ejército Nacional. En este procedimiento de escucha, se realizaron disimiles preguntas pertinentes al tema de estudio a los responsables de ciencia y tecnología en distintas unidades militares ubicadas en la ciudad de Bogotá (Colombia), incluyendo en las encuestas la importancia de criterios y subcriterios para evaluar las tecnologías, el impacto de estas, y sugerencias por parte de los uniformados. De este contexto se identificó la necesidad de incluir el componente legal que limita estas innovaciones tecnológicas y las ponderaciones sugeridas para las categorías identificadas.

MOPGIITEC es pionero en la evaluación, y priorización de inversiones en desarrollos y/o adquisiciones de innovaciones tecnológicas para que el ejército colombiano lo presente al Ministerio de Defensa, es un método distinto a los propuestos por otros autores, ya que se ha creado con base en los ámbitos de aplicación de las distintas tecnologías de vanguardia de carácter militar.

MOPGIITEC es un modelo matemático que permite tomar decisiones con carácter selectivo para la inversión en el desarrollo o adquisición de tecnología de

vanguardia militar, este modelo se puede adecuar no solamente a tecnología militar, si no a cualquier adquisición, donde se involucre la toma de decisiones orientadas hacia activos con un objetivo estratégico.

En primer lugar, es necesario comprender, que todas las innovaciones tecnológicas, encajan un marco categórico, es decir, cada recurso pertenece a una rama estratégica, por tanto, se establecen 17 categorías, cada una con criterios propuestos, de manera que la evaluación pueda ser asertiva y no permita sesgo dentro de la evaluación de las PIT's. Estos criterios se describen a detalle en la asignación de pesos para criterios. Estas categorías de aplicación de las innovaciones tecnológicas militares fueron adaptadas de las propuestas por [9] y se relacionan en la Tabla 1.

Es importante para el ejército colombiano conocer vías de desarrollo tecnológico que fomenten la evolución militar. En el informe presentado por el Ministerio de Defensa de Colombia, se identifican los pilares de la fuerza pública de Colombia para el 2030 [21], que contempla los enfoques tecnológicos, los cuales se basan en doce programas que cumplen con el desarrollo de capacidades que mejoran las áreas misionales de la fuerza pública colombiana, estos enfoques fueron utilizados como base para la construcción de preguntas para las entrevistas. Estas entrevistas a los integrantes del cuerpo militar se utilizaron para hallar el impacto y límite legal de las innovaciones tecnológicas, las cuales se organizan en categorías, bajo ellas se fundamenta el modelo propuesto. La Tabla 2, presenta la alineación existente entre las categorías y “Los doce programas de desarrollo” formulados por el Ministerio de Defensa Nacional de Colombia.

Para facilitar la comprensión del MOPGIITEC se explica, por medio de diagramas de flujo, la secuencia y las actividades correspondientes a cada una de las fases, para después detallar los cálculos ponderativos dirigidos a asignar pesos y puntajes a las PIT's (Propuesta de Innovación Tecnológica). La primera fase del procedimiento se describe en la Figura 2.

La segunda fase está diseñada para la priorización de las propuestas ponderadas en la primera fase siguiendo el proceso descrito en la Figura 3.

Tabla 1. Definición y criterios propuestos para las 17 categorías para innovaciones tecnológicas

<b>Categoría</b>	<b>Definición</b>
Información	Todo objeto que permita obtener información de manera eficaz
Medio Ambiente	Instrumentos o entrenamientos que apoyen la conservación o recuperación del medio ambiente.
Defensa	Todo elemento que provea protección al conjunto militar de una nación
Aeronaves	Vehículos de navegación aérea.
Energía	Elementos para generar y conservar energía.
Robots	Entidad virtual o mecánica artificial.
Entrenamiento	Simuladores usados para el aprendizaje de los soldados.
Ciberseguridad	Protección de la infraestructura computacional y de los servidores del gobierno y el ejército.
Desminado	Vehículos que eliminan o detectan minas terrestres.
Vehículos	Vehículos de: combate, reconocimiento, transporte de tropa, mando y control, e inteligencia.
Instalaciones	Elementos que permiten la mejoría de las instalaciones en zona de guerra o zona de campaña.
Logística	Equipo móvil que permite el desplazamiento de cargas pesadas a zonas de combate y abastecimiento de unidades.
	Procedimientos o elementos que permiten la atención a emergencias.
Materiales	Elementos que son modificados para determinado fin, mejorando ciertas características ya existentes.
Artillería	Conjunto de armas de guerra de gran peso y tamaño que disparan proyectiles a larga distancia incluyendo dispositivos autopropulsados
Comunicaciones	Elementos que facilitan la comunicación entre individuos, generalmente diseñados para no ser intervenidos por el enemigo.
Vestuario	Elementos de protección personal del soldado modificados para su beneficio
Submarinos	Navío capaz de sumergirse bajo la superficie del océano

Fuente: adaptado de [9].

Tabla 2. Relación de programas de desarrollo con las 17 categorías

Programa de desarrollo	Categorías relacionadas
Mando y control	Información
Inteligencia	Instalaciones Comunicaciones
Ciberdefensa y seguridad	Ciberseguridad
Transporte y despliegue	Logística Vehículos Materiales
Control y prevención	Desminado
Ayuda humanitaria y atención a desastres	Medio ambiente Desminado
Sostenimiento	Energía Vestuario
Combate terrestre	Defensa Entrenamientos Vehículos Artillería
Combate aéreo y espacial	Defensa Aeronaves
Combate marítimo y fluvial	Defensa Submarinos
Guerra electrónica	Robots
Investigación criminal	Instalaciones Ciberseguridad

Fuente: autores a partir de [9] y [21].

#### 4.1. Primera fase

Esta fase corresponde a la ponderación de todas las propuestas, únicamente con base en criterios y subcriterios, hasta la conformación de la Lista de PIT's Ponderadas (LPP), la cual constituye el entregable para la segunda fase.

##### 4.1.1. Selección de categorías

Dado que los criterios y subcriterios de evaluación para las Propuestas de Innovación Tecnológicas, PIT's son variables debido al amplio enfoque y aplicación que estas tengan, en este paso, el proceso a realizar por los evaluadores es clasificar cada PIT, en una de las 17 categorías que se muestra en detalle en la Tabla 1.

##### 4.1.2. Validación de la PIT en el ámbito legal Colombia

Este paso es fundamental en la adquisición o desarrollo de innovaciones tecnológicas para el EJC, su objetivo es identificar el cumplimiento de la normatividad legal con respecto a la PIT a trabajar, una vez comprobado que esta propuesta es totalmente legal, se procede a continuar, si no es así, la PIT no es viable, y se procede a su descarte.

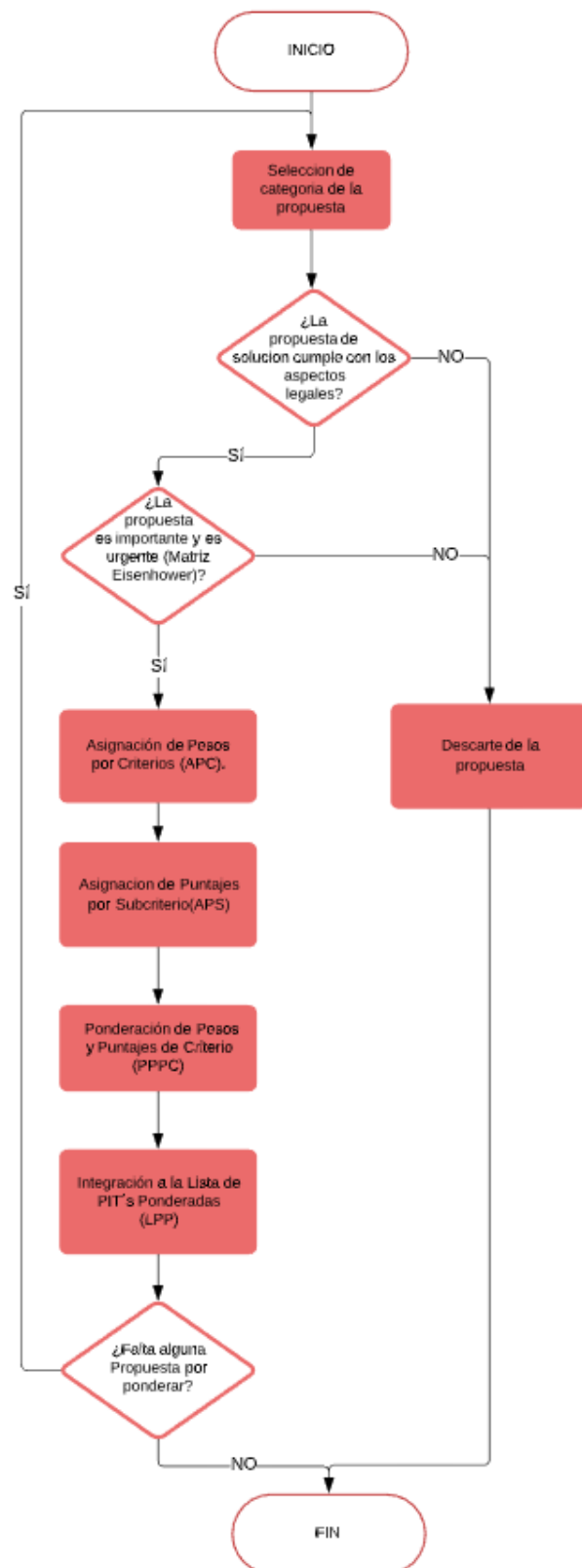


Figura 2. Descripción de la primera fase del MOPIITEC. Fuente: elaboración propia.



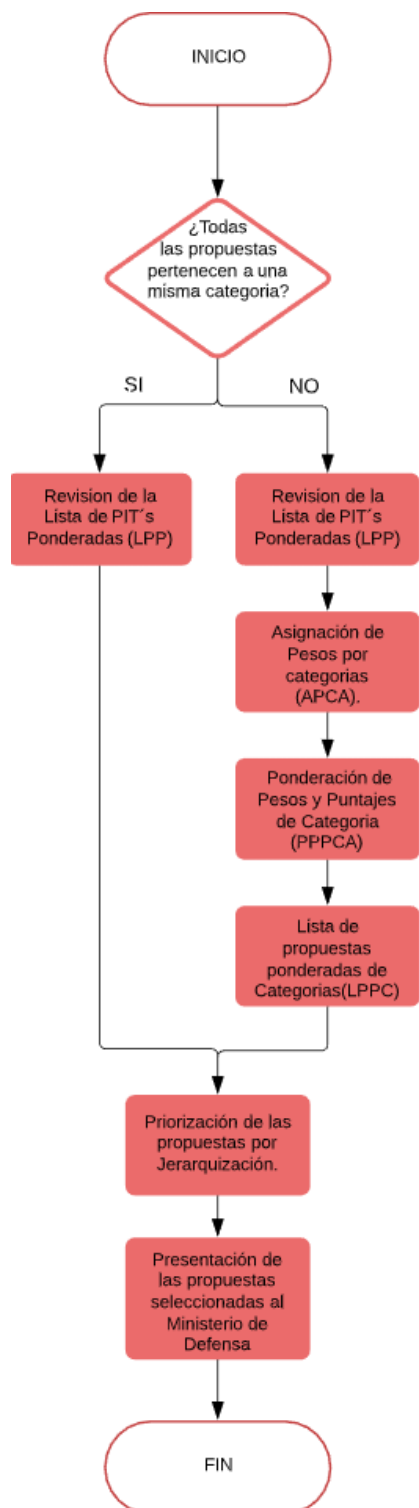


Figura 3. Descripción de la segunda fase del MOPIITEC. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 3 se encuentran las normas legales mínimas a considerar por categoría.

Tabla 3. Normas legales por categoría

Categoría	Normas mínimas que considerar
Información	Ley 1341 de 2009. Resolución 415 de 2010 Resolución 2007 de 2018
Medio ambiente	Decreto 591 de 1991 Decreto 1195 de 2017 Decreto 1124 de 1999
Defensa	Decreto 4177 de 2011 Decreto 591 de 1991 Decreto 393 de 1991 Decreto 1931 de 1934
Aeronaves	Decreto 591 de 1991
Energía	Decreto 591 de 1991 Ley 697 de 2001 Ley 1715 de 2014
Robots	Decreto 591 de 1991
Entrenamiento	Decreto 591 de 1991 Decreto 584 de 1991 Ley 115 de 1994
Ciberseguridad	Decreto 591 de 1991 Resolución 2007 de 2018
Desminado	Decreto 591 de 1991 Decreto 1195 de 2017 Decreto 179 de 2019
Vehículos	Decreto 591 de 1991 Decreto 393 de 1991 Ley 1964 de 2019
Instalaciones	Decreto 591 de 1991 Decreto 393 de 1991
Logística	Decreto 591 de 1991 Decreto 584 de 1991 Decreto 959 de 2013 Decreto 1931 de 1934
Materiales	Decreto 591 de 1991 Decreto 302 de 1935 Ley 77 de 1914 Decreto 1997 de 1927
Artillería	Decreto 591 de 1991 Decreto 157 de 1909 Decreto 847 de 1907 Decreto 571 de 1943
Comunicaciones	Decreto 4169 de 2011 Decreto 591 de 1991 Decreto 4350 de 2009
Vestuario	Decreto 591 de 1991 Resolución 2007 de 2018 Decreto 232 de 1896 Decreto 901 de 1951
Submarinos	Decreto 591 de 1991 Decreto 1721 de 1941

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.3. Clasificación de la PIT en la Matriz Eisenhower

Teniendo en cuenta que el objetivo del MOPGIITEC es priorizar las propuestas, se deberá clasificar la problemática a la cual responde la PIT en uno de los cuadrantes de la matriz de Eisenhower, esta matriz busca mejorar la productividad por medio de la organización y priorización de problemáticas. La matriz de Eisenhower se basa en la clasificación de problemas en importantes o no y urgentes o no [14].

Dado que la tecnología avanza y se desarrolla rápidamente, no se debe dejar de lado las instancias humanas, políticas domésticas, burócratas, y ambientes de combate, para comprender desde todas las perspectivas la importancia y la urgencia con que se deben atender estas innovaciones en la tecnología militar, pues deben ser incentivadas y promovidas por las instituciones militares y del sector defensa.

El MOPGIITEC se crea para clasificar PIT's que dan solución a problemáticas cuando estas son única y exclusivamente importantes y urgentes, por tanto se proseguirá con el modelo si la PIT está dentro del cuadrante de "¡hazlo!", el cual propone que si la problemática tiene importancia y la solución de esta es de carácter urgente, teniendo en cuenta que un problema importante es aquel que tiene un alto impacto en el tiempo y suele permanecer en el recuerdo, y que un problema urgente es aquel que requiere atención inmediata y suele hacer posible lo importante. Obsérvese la Figura 4.

<b>Problemática importante</b>	Planificar o posponer	¡Hazlo!
<b>Problemática sin importancia</b>	Archivar	Delegar
	<b>Problemática sin urgencia</b>	<b>Problemática urgente</b>

Figura 4. Clasificación de la PIT en la Matriz Eisenhower. Fuente: [14].

A continuación, se sugiere comparar la propuesta con cada una de las características de los cuadrantes de la matriz, con el objetivo de no desechar una buena alternativa y lograr situar correctamente la PIT en un cuadrante de la matriz de la Figura 5.

<b>Problemática importante</b>	Cuando el problema no se puede olvidar, ni desechar, pero existe un plazo prudente para solucionarlo.	Cuando el problema tiene alto impacto en el tiempo y requiere atención inmediata.
<b>Problemática sin importancia</b>	Cuando el problema aún no es vital y no debe ser solucionado rápidamente, este puede cambiar de cuadrante con el tiempo.	Cuando el problema tiene que ser solucionado rápidamente pero no es vital.
	<b>Problemática sin urgencia</b>	<b>Problemática urgente</b>

Figura 5. Caracterización de la PIT en la matriz Eisenhower. Fuente: Adaptado de [14].

#### 4.1.4. Asignación de pesos por criterios (APC)

Actualmente para las fuerzas armadas es clave que todas las propuestas en materia de innovación sean fundamentadas desde los enfoques sociales, tecnológicos y doctrinales, de tal forma que estas se puedan integrar con un equipo de líderes y organizaciones que logren guiar el suplir de las necesidades del sector defensa [22].

Como la tecnología avanza y se desarrolla rápidamente, no se debe dejar de lado las instancias humanas, políticas domésticas, burócratas, y ambientes de combate, para comprender desde todas las perspectivas la importancia y la urgencia con que se deben atender estas innovaciones en la tecnología militar, pues deben ser incentivadas y promovidas por las instituciones militares y del sector defensa.

Dado que los criterios de evaluación para todas las PIT son diferentes, se presenta en la Tabla 4 la descripción de cada criterio propuesto para evaluar la PIT objetivamente.

Los criterios definidos en la Tabla 4 se conectan con las categorías de la Tabla 1, para que el evaluador sepa cuáles son las categorías que debe considerar. La Tabla 5 presenta las categorías y los criterios respectivos.

Con base en la categoría de la PIT, se procede a asignar los pesos respectivos de cada criterio para la Ponderación de la PIT por Criterios (PPC), el peso de cada criterio se asignará por medio de la comparación por pares, que se recomienda sea desarrollado por expertos o conocedores de la categoría del EJC.

La comparación consiste en contrastar pares de criterios de cada categoría como una forma de valorar las PIT's, así los conocedores de la categoría o expertos emiten un juicio con respecto a la importancia de un criterio con otro respondiendo a la pregunta: ¿Qué tan importante es el primer criterio con respecto al segundo? [23].

Debe entenderse como primer criterio aquel que hace parte de las filas, y como segundo aquel que hace parte de las columnas, los puntajes se asignan de acuerdo con la Tabla 6.

Tabla 4. Descripción de los criterios

Notación	Criterio	Descripción
C1	Enfoque doctrinal	Evalúa el acople e impacto de la PIT en el conjunto de saberes y prácticas de la doctrina militar.
C2	Enfoque Social	Valora el impacto de la PIT en el bien común, aquí se tiene en cuenta la huella que la tecnología puede dejar a futuro en la sociedad.
C3	Enfoque Tecnológico	Aprecia el alcance y la efectividad de la tecnología para resolver problemas urgentes e importantes.
C4	Enfoque Económico	Tiene en cuenta el costo y modo de financiación de la PIT.
C5	Enfoque ambiental	Mide el impacto de la PIT en el medio ambiente, prioriza el costo de oportunidad que genera adquirir una PIT en este marco
C6	Enfoque pionero	Se enfoca en la novedad de la PIT, toma en cuenta las características de una tecnología de vanguardia, con innovación en valor.
C7	Enfoque estratégico	Evalúa el papel de la PIT para el logro del objetivo estratégico del problema, aquí los subcriterios detallan el efecto de la PIT en sus fases vitales.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Criterios para las 17 categorías

Categoría	Criterios
Información	C2, C4, C6, C7
Medio Ambiente	C1, C2, C3, C4, C5
Defensa	C1, C2, C3, C4, C6, C7
Aeronaves	C2, C4, C6, C7
Energía	C2, C4, C5, C6, C7
Robots	C1, C2, C4, C6
Entrenamiento	C1, C2, C4, C6, C7
Ciberseguridad	C2, C4, C6, C7
Desminado	C1, C2, C3, C4, C6, C7
Vehículos	C2, C4, C6, C7
Instalaciones	C1, C2, C3, C4, C6, C7
Logística	C2, C4, C5, C6, C7
Materiales	C1, C2, C5, C4, C6, C7
Artillería	C1, C2, C3, C4, C6, C7
Comunicaciones	C2, C4, C6, C7
Vestuario	C1, C2, C4, C6, C7
Submarinos	C2, C4, C6, C7

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Definición de puntajes para criterios

Puntaje	Parámetro de puntaje para criterios
9	Cuando el primer criterio es vital y supremamente importante
5	Cuando el primer criterio es altamente importante
3	Cuando el primer criterio es medianamente importante
1	Cuando el primer y el segundo criterio tienen la misma importancia
1/9	Cuando el segundo criterio es vital y supremamente importante
1/5	Cuando el segundo criterio es altamente importante
1/3	Cuando el segundo criterio es medianamente importante

Fuente: elaboración propia.

La matriz de asignación de pesos por criterio (APC) es el formato de operación y registro de puntajes, donde se determina la participación relativa de cada comparación y el peso de cada criterio, como se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Matriz: asignación de pesos por criterio- APC

		Columna de Criterios (Cj)				Participación relativa de comparaciones				%Acumulado Ci	Peso Wi
		C1	C2	...	Cn	%Ci:C1	%Ci:C12	...	%Ci:Cn		
Fila de Criterios (Ci)	C1	(C1:C1)	(C1:C2)	...	(C1:Cn)	$\frac{\%C1:C1}{TC1}$	$\frac{\%C1:C2}{TC2}$	...	$\frac{\%C1:Cn}{TCn}$	$\%Acum C1 = (\%C1:C1 + \%C1:C2 + \dots + \%C1:Cn)$	$(\%Acum C1)/n$
	C2	(C2:C1)	(C2:C2)	...	(C2:Cn)	$\frac{\%C2:C1}{TC1}$	$\frac{\%C2:C2}{TC2}$	...	$\frac{\%C2:Cn}{TCn}$	$\%Acum C2 = (\%C2:C1 + \%C2:C2 + \dots + \%C2:Cn)$	$(\%Acum C2)/n$
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Cn	(Cn:C1)	(Cn:C2)	...	(Cn:Cn)	$\frac{\%Cn:C1}{TC1}$	$\frac{\%Cn:C2}{TC2}$	...	$\frac{\%Cn:Cn}{TCn}$	$\%Acum Cn = (\%Cn:C1 + \%Cn:C2 + \dots + \%Cn:Cn)$	$(\%Acum Cn)/n$
Total Comparación (TC)		$TC1 = (C1:C1) + (C2:C1) + \dots + (Cn:C1)$	$TC2 = (C1:C2) + (C2:C2) + \dots + (Cn:C2)$	...	$TCn = (C1:Cn) + (C2:Cn) + \dots + (Cn:Cn)$						

Fuente: elaboración propia.

Para el registro el puntaje para cada par de criterios esta descrito con la notación  $(C_i: C_j)$  donde el primer criterio (Fila) se compara con el segundo (Columna), por ejemplo, para comparar el criterio 1 con el criterio 2, el puntaje se registra en la casilla  $(C_1: C_2)$ . Nota:  $n$  es la cantidad de criterios en la categoría.

Una vez realizado el registro de cada comparación se procede a calcular el acumulado de cada criterio por columnas de criterios, es decir, el total de puntaje de comparación  $(TC_j)$  para cada criterio, obsérvese la Ecuación (1).

$$TC_j = \sum_{i=1}^n (C_i: C_j) \quad (1)$$

Teniendo el valor total de comparación para cada criterio por columna, se debe buscar la participación relativa de cada comparación, esta consiste en el cociente de cada comparación sobre el total de comparaciones por criterio, la notación en la matriz APC, es la siguiente;  $(\%C_i: C_j)$ , la participación relativa para cada par está dado por la Ecuación (2).

$$\%C_i: C_j = \frac{(C_i: C_j)}{TC_j} \quad (2)$$

Una vez realizado el registro de la participación relativa de cada comparación  $C_i$  se procede a determinar la participación acumulada  $(\%Acum C_i)$  para cada criterio por fila usando la Ecuación (3).

$$\%Acum C_i = \sum_{j=1}^n (\%C_i: C_j) \quad (3)$$

Finalmente, para obtener el peso de cada criterio, en la matriz con la notación  $W_i$ , solamente se debe calcular la media de las participaciones relativas de los pares de criterios, observe la Ecuación (4).

$$w_i = \frac{\%Acum C_i}{n} \quad (4)$$

#### 4.1.5. Asignación de puntajes por subcriterios (APS)

Un subcriterio se entiende como un parámetro de evaluación dentro de un criterio. La Tabla 8 presenta los subcriterios que se sugiere tener en cuenta para cada criterio.

Tabla 8. Subcriterios

Criterio	Subcriterios
Enfoque doctrinal	-Acople a la doctrina actual. -Desarrollo de la doctrina militar -Incentivo de la práctica doctrinal
Enfoque Social	-Alcance del impacto social en el presente. -Alcance del impacto social en el futuro. -Aceptación por la sociedad.
Enfoque Tecnológico	-Adaptación al territorio -Capacitación en el uso de la PIT -Ciclo de vida -Alcance en la solución del problema
Enfoque Económico	-Costo -Financiación -Depreciación -Valor de salvamento -Capacitación -Costo de sostenimiento futuro -Costo de actualización
Enfoque ambiental	-Área de impacto ambiental. -Coste de oportunidad.
Enfoque pionero	-Tipo de innovación. -Diferencia de la PIT con otras. -Tiempo desde la creación de la patente de la PIT. (si aplica)
Enfoque estratégico	-Impacto en el desarrollo de actividades estratégicas. -Uso en otras situaciones no urgentes-importantes.

Fuente: elaboración propia.

El objetivo de la APS es asignar puntos a cada subcriterio, para luego si, multiplicar este puntaje por el peso  $W_i$  del criterio  $i$ . La APC, se realiza con el fin de conocer cuáles son los criterios o puntos de inflexión en la toma de decisiones, y se diferencia del APS porque esta última asigna el factor del peso, según sea la alternativa, obsérvese en la Tabla 9 la matriz Asignación de Puntajes por Subcriterios- APS.

Tabla 9. Matriz: Asignación de puntajes por subcriterios- APS

		Alternativas			
		PIT 1	PIT 2	...	PIT k
SubCriterios del criterio	SC 1	APIT1-1	APIT1-2	...	APIT1-n
	SC2	APIT2-1	APIT2-2	...	APIT2-n
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	SCn	APITk-1	APITk-2	...	APITk-n
	Total puntaje por PIT (SCPITk-i)	$SCPIT1-i=(APIT1-1+APIT1-2+...+APIT1-n)n$	$SCPIT2-i=(APIT2-1+APIT2-2+...+APIT2-n)n$	...	$SCPITk-i=(APITk-1+APITk-2+...+APITk-n)n$

Fuente: elaboración propia.

Donde  $PIT_k$  es cada una de las alternativas de innovación tecnológica que pertenezcan a la misma categoría, cuando existen PIT's de diferentes categorías el proceso de APC, APS y PPPC se debe hacer por separado, para cada una de las categorías. Las filas para  $SC_n$  se refieren a cada uno de los subcriterios que pueda tener cada criterio, esto quiere decir que esta matriz se debe realizar tantas veces como el número de criterios de la categoría. La notación  $APIT_{k-n}$  se refiere al puntaje otorgado a esa  $PIT_k$  en el  $SC_n$ , donde  $n$  es la cantidad de subcriterio para el criterio  $i$ .

La guía para la asignación de puntajes para subcriterios cualitativos y cuantitativos se presenta en las Tablas 10 y 11, respectivamente.

Tabla 10. Definición de puntajes para subcriterios cualitativos

Puntaje	Parámetro de puntaje para subcriterios
0	Cuando el subcriterio evaluado simboliza una nula importancia en la toma de decisión de la PIT.
1	Cuando el subcriterio evaluado simboliza una baja importancia en la toma de decisión de la PIT.
2	Cuando el subcriterio evaluado simboliza una mediana importancia en la toma de decisión de la PIT.
3	Cuando el subcriterio evaluado simboliza una alta importancia en la toma de decisión de la PIT.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Definición de puntajes para subcriterios cuantitativos

Puntaje	Parámetro de puntaje para subcriterios
0	Si la importancia relativa es del 0% o si el valor del impacto positivo está entre el 1% y el 33%.
1	Si la importancia relativa se encuentra entre el 67% y el 100% o si el valor del impacto positivo está entre el 34% y el 66%.
2	Si la importancia relativa se encuentra entre el 34% y el 66% o si el valor del impacto positivo está entre el 67% y el 100%.
3	Si la importancia relativa se encuentra entre el 1% y el 33% o si el valor del impacto positivo es del 0%

Fuente: elaboración propia.

Para el escenario de subcriterios cuantitativos, es decir medibles, se presentan los siguientes casos:

- Si el objetivo es minimizar la importancia del subcriterio, como por ejemplo el costo o la población afectada, entonces se debe encontrar el valor de la importancia relativa de la  $PIT_k$  para el subcriterio  $SC_n$ , la cual está dada por la diferencia entre el valor de la  $PIT_k$  para ese subcriterio (PIT que se está analizando) y el valor de la PIT  $PIT_{mayor}$  para ese subcriterio (PIT más grande de ese subcriterio). Como se muestra en la Ecuación (5).

$$\text{Importancia relativa de la } PIT_K = \frac{PIT_{mayor} - PIT_K}{PIT_{mayor}} * 100\% \quad (5)$$

- Si el objetivo es maximizar la importancia del subcriterio, como por ejemplo la población beneficiada, entonces, entonces se debe encontrar el valor del impacto positivo de la  $PIT_k$  para el subcriterio  $SC_n$ , la cual está dada por la diferencia entre el valor de la  $PIT_k$  para ese subcriterio (PIT que se está analizando) y el valor de la PIT  $PIT_{mayor}$  para ese subcriterio (PIT más grande de ese subcriterio). Como se muestra en la Ecuación (6).

$$\text{Impacto positivo de la } PIT_K = \frac{PIT_{mayor} - PIT_K}{PIT_{mayor}} * 100\% \quad (6)$$

Finalmente, el puntaje de cada PIT para el criterio  $W_i$ , se denota por  $SC_{PITk-i}$ , donde el puntaje del criterio para cada PIT será el promedio de cada puntaje otorgado a la  $PIT_K$  en el  $SC_n$ , como se muestra en la Ecuación (7).

$$SC_{PITk-i} = \frac{\sum_{j=1}^n (A_{PITk-n})}{n} \quad (7)$$

#### 4.1.6. Ponderación de pesos y puntajes de criterio (PPPC)

La siguiente etapa del modelo MOPIITEC, es la multiplicación de pesos  $W_i$  y puntajes por cada criterio y alternativa o PIT, esta ponderación se denota en la Tabla 12 como  $B_{PITk-n}$  donde este es el producto entre el puntaje de la  $SC_{PIT-K}$  obtenido en la APS y el peso  $W_i$ , asignado en la APC. La Ecuación (8) muestra la ponderación descrita.

$$B_{PITk-i} = SC_{PITk-i} * W_i \quad (8)$$

Tabla 12. Matriz: Ponderación de pesos y puntajes de criterio – PPPC

		Valor ponderado del criterio $W_i$				Ponderación para cada alternativa $PPIT-K$
		$W_1$	$W_2$	...	$W_i$	
Alternativas	$PIT_1$	$BPIT1-1$	$BPIT1-2$	...	$BPIT1-i$	$PPIT1=BPIT1-1+BPIT1-2+...+BPIT1-i$
	$PIT_2$	$BPIT2-1$	$BPIT2-2$	...	$BPIT2-i$	$PPIT2=BPIT2-1+BPIT2-2+...+BPIT2-i$
	...	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	$PIT_k$	$BPITk-1$	$BPITk-2$	...	$BPITk-i$	$PPITk=BPITk-1+BPITk-2+...+BPITk-i$

Fuente: elaboración propia.

Donde  $PIT_K$  corresponde a cada una de las alternativas de innovación tecnológica que pertenezcan a la misma categoría. Las columnas  $w_i$  se refieren a cada criterio, una de las ponderaciones descritas en la Ecuación (8), donde  $i$  es la cantidad de criterios.

#### 4.1.7. Integración a la lista de PIT's ponderadas (LPP)

Una vez se haya realizado la PPPC se procede a ubicar todas estas PIT's con sus respectivos puntajes en la LPP, las cuales serán jerarquizadas en la Segunda Fase. En la Tabla 13 puede observarse la integración de propuestas a la lista.

Tabla 13. Lista de PIT's ponderadas

Alternativas $PIT-K$	Ponderación para cada alternativa $PPIT-K$
$PIT-1$	$PPIT-1$
$PIT-2$	$PPIT-2$
----	-----
$PIT-k$	$PPIT-k$

Fuente: elaboración propia

## 4.2. Segunda fase

Esta segunda fase parte de la LPP, si todas las PIT's pertenecen a la misma categoría, el MOPGIITEC finaliza desde el segmento de revisión de la LPP, que consiste únicamente en tener en cuenta las propuestas para la Priorización de las propuestas por Jerarquización de mayor a menor, pero si al menos una PIT pertenece a una categoría distinta se procede a realizar la asignación de pesos para categorías y luego su ponderación, para después priorizar las PIT's.

### 4.2.1. Revisión de la LPP

Como se mencionó anteriormente este paso consiste en tener en cuenta los puntajes de cada PIT, generados en la primera fase.

### 4.2.2. Asignación de pesos por categorías (APCA)

Este paso consiste en obtener el producto de los puntajes de cada PIT multiplicado por el grado de importancia relativa de cada categoría que se relaciona en la Tabla 14, estos valores promedio fueron calculados a partir de la opinión de una muestra de miembros activos de las fuerzas militares encuestados al respecto durante el segundo semestre de 2019.

En la Tabla 14 se observa la importancia relativa de las categorías de innovación definidas, se observa la calificación promedio corresponde a 0.8187, con una desviación estándar de 0.2245 y una máxima variación relativa en la ponderación del 8.552%, sin embargo se clasifican en tres niveles de acuerdo a sus rangos, las más importantes corresponden a: Defensa, Ciberseguridad, Vestuario, Información, Aeronaves, Comunicaciones, Entrenamiento, Vehículos Medio Ambiente y Energía; en un nivel de importancia media se ubican las categorías: Desminado, Instalaciones, Logística, Materiales y Artillería. Y finalmente, las categorías menos importantes son: Submarinos y Robots.

Tabla 14. Importancia relativa de cada categoría

Categoría	Promedio	Importancia relativa $W_i$	Nivel
Defensa	4,2345	0,8469	Alto
Ciberseguridad	4,1862	0,8372	
Vestuario	4,1862	0,8372	
Información	4,1724	0,8345	
Aeronaves	4,1724	0,8345	
Comunicaciones	4,1724	0,8345	
Entrenamiento	4,1517	0,8303	
Vehículos	4,1310	0,8262	
Medio Ambiente	4,1034	0,8207	
Energía	4,0966	0,8193	Medio
Desminado	4,0828	0,8166	
Instalaciones	4,0828	0,8166	
Logística	4,0552	0,8110	
Materiales	4,0138	0,8028	
Artillería	4,0069	0,8014	Bajo
Submarinos	3,9310	0,7862	
Robots	3,8069	0,7614	

Fuente: elaboración propia.

### 4.2.3. Ponderación de pesos y puntajes de categorías (PPPCA)

Este paso se realiza de manera similar al inciso 4.1.6 Ponderación de Pesos y Puntajes de Criterios (PPPC), con la diferencia que para el caso de ponderación para las categorías, lo conocido como  $W_i$ , será la importancia relativa de cada categoría (Tabla 14), esta ponderación se denota en la Tabla 15 como  $VP_{PITk-i}$ , que se refiere al valor ponderado de la propuesta  $k$  (cantidad de todas las propuestas de todas las categorías), e  $i$  son la cantidad de categorías identificadas. Entonces  $VP_{PITk-i}$  es el producto entre el puntaje de la cada una de las PIT's

$P_{PITk-i}$  obtenido en las iteraciones de la primera fase y el peso  $W_i$ , asignado a cada categoría en el paso anterior. Este producto se da solo una vez para una PIT.

Una PIT no puede pertenecer a más de una categoría, una categoría puede contener varias PIT's, tal cual se describió en la primera fase, y como se observa en la Tabla 8. La Ecuación (9) muestra la ponderación descrita anteriormente.

$$VP_{PITk-i} = P_{PITk-i} * W_i \quad (9)$$

Tabla 15. Matriz: Ponderación de pesos y puntajes de categorías -PPPCA

		Peso de categorías $W_i$				
		$W_1$	$W_2$	$W_3$	...	$W_i$
Alternativas	PIT 1	VPPIT1 -1	-	-	...	-
	PIT 2	-	VPPIT2 -2	-	...	-
	PIT 3	VPPIT3 -1	-	-	...	-
	...	⋮	⋮	-	⋮	⋮
	PIT k	-	-	VPPITk -3	...	-

Fuente: elaboración propia.

Una vez el MOPGIITEC obtenga el valor ponderado de categoría para cada una de las PIT's, lo que sigue es ordenarlas de mayor a menor.

#### 4.2.4. Priorización de las propuestas por jerarquización

Para este paso se procederá a ubicar las propuestas ponderadas por categoría, en orden descendente, donde la propuesta de mayor puntaje será la primera, y la de menor puntaje será la última. Como, por ejemplo, en la Tabla 16, el Valor ponderado de categoría de la PIT 1, es mayor al de la PIT 2, y a su vez la PIT 2 es mayor a la PIT 3.

Tabla 16. Matriz: priorización de alternativas por jerarquización

Jerarquización de alternativas
Primer lugar: PIT 1
Segundo lugar: PIT 2
Tercer lugar: PIT 3
⋮
N-ésimo lugar: PIT k

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.5. Presentación de las propuestas seleccionadas al Ministerio de Defensa

Culminado el modelo matemático de priorización de alternativas tecnológicas, el ejército nacional es el responsable de presentar dichos resultados acompañados por un informe detallado de las propuestas ante el Ministerio de Defensa nacional, con el objetivo de conseguir la aprobación de recursos para las propuestas prioritarias en concordancia con el presupuesto nacional.

#### 4.3. Ejemplo de aplicación

##### 4.3.1. A modo de ejemplo se aplicará el modelo de priorización aplicación de la primera fase

A modo de ejemplo se aplicará el Modelo de Priorización para la Gestión de la Inversión de Innovaciones Tecnológicas para el Ejército Colombiano -MOPGIITEC a cinco propuestas que se denominan A, B, C, D y E, respectivamente

Se inicia definiendo las categorías de la Tabla 1 a las que pertenece cada una de las propuestas, así:

- Propuesta A: Información
- Propuesta B: Defensa
- Propuesta C: Desminado
- Propuesta D: Defensa
- Propuesta E: Vestuario

Posteriormente, se verifica el cumplimiento de la normatividad que le corresponde a cada una, relacionada en la Tabla 3

- Propuesta A: Información; cumple con la Ley 1341 de 2009, la Resolución 415 de 2010 y la Resolución 2007 de 2018, entonces continúa.
- Propuestas B y D: Defensa; cumplen con el Decreto 4177 de 2011, Decreto 591 de 1991, Decreto 393 de 1991 y Decreto 1931 de 1934, así que siguen siendo candidatas.
- Propuesta C: Desminado, cumple con el Decreto 591 de 1991, el Decreto 1195 de 2017, pero no con el Decreto 179 de 2019 a cabalidad, por lo que se descarta.
- Propuesta E: Vestuario; cumple el Decreto 591 de 1991, la Resolución 2007 de 2018, el Decreto 232 de 1896 y el Decreto 901 de 1951.

A continuación, se ubican las cuatro propuestas que cumplen la parte legal en la matriz de Eisenhower [14] según su importancia y urgencia. En la Figura 6, se observa que sólo tres propuestas deben ser estudiadas y se descarta la E por no ser ni importante ni urgente.



<b>Problemática importante</b>		Propuesta A Propuesta B Propuesta D
<b>Problemática sin importancia</b>	Propuesta E	
	<b>Problemática sin urgencia</b>	<b>Problemática urgente</b>

Figura 6. Clasificación de la PIT del ejemplo en la Matriz Eisenhower

De acuerdo con las Tablas 4 y 5, los criterios que deben considerarse para las tres propuestas son:

- Propuesta A (Información): Enfoque Social (C2), Enfoque Económico (C4), Enfoque pionero (C6) y Enfoque estratégico (C7) (4)
- Propuestas B y D (Defensa): Enfoque doctrinal (C1), Enfoque Social (C2), Enfoque Tecnológico (C3), Enfoque Económico (C4), Enfoque pionero (C6) y Enfoque estratégico (C7) (6)

Para cada categoría se asignan los pesos de cada criterio para la Ponderación de la PIT por Criterios (PPC), comparando pares de criterios usando los valores de la Tabla 6. Lo que da lugar a las Tablas 17 y 18 para las categorías: información y defensa, respectivamente.

Ahora se asignan calificaciones a los subcriterios de la Tabla 8 para cada propuesta mediante la matriz APS, usando los puntajes de las Tablas 10 y 11, los resultados se promedian para obtener la valoración de cada criterio y se multiplican por el peso  $W_i$  calculado previamente, la sumatoria de estos últimos valores representan la calificación global de cada propuesta; los datos se presentan en las Tablas 19 y 20 para las categorías: información y defensa, respectivamente.

La lista de propuestas ponderadas en este caso corresponde a la presentada en la Tabla 21.

Tabla 17. Matriz: asignación de pesos por criterio- APC para la categoría Información

		Columna de criterios (Cj)				Participación relativa de comparaciones				%Acumulado $C_i$	Peso $W_i$
		C2	C4	C6	C7	%C1	%C2	%C6	%C7		
Criterios ( $C_i$ )	C2		5.000	9.000	0.111	0.00%	81.82%	89.01%	33.33%	204.16%	51.04%
	C4	0.200		1.000	0.111	47.37%	0.00%	9.89%	33.33%	90.59%	22.65%
	C6	0.111	1.000		0.111	26.32%	16.36%	0.00%	33.33%	76.01%	19.00%
	C7	0.111	0.111	0.111		26.32%	1.82%	1.10%	0.00%	29.23%	7.31%
Totales		0.422	6.111	10.111	0.333	100.00%	100.00%	100%	100%	400%	100.00%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. Matriz: asignación de pesos por criterio- APC para la categoría Defensa

		Columna de criterios (Cj)					Participación relativa de comparaciones							%Acum. $C_i$	Peso $W_i$
		C1	C2	C3	C4	C6	C7	%C1	%C2	%C3	%C4	%C6	%C7		
Criterios ( $C_i$ )	C1		9.000	9.000	9.000	9.000	1.000	0.00%	86.35%	74.31%	55.86%	44.75%	69.23%	330.51%	55.09%
	C2	0.333		1.000	5.000	9.000	0.111	20.00%	0.00%	8.26%	31.03%	44.75%	7.69%	111.74%	18.62%
	C3	0.111	1.000		1.000	1.000	0.111	6.67%	9.59%	0.00%	6.21%	4.97%	7.69%	35.13%	5.86%
	C4	0.111	0.200	1.000		1.000	0.111	6.67%	1.92%	8.26%	0.00%	4.97%	7.69%	29.51%	4.92%
	C6	0.111	0.111	1.000	1.000		0.111	6.67%	1.07%	8.26%	6.21%	0.00%	7.69%	29.89%	4.98%
	C7	1.000	0.111	0.111	0.111	0.111		60.00%	1.07%	0.92%	0.69%	0.55%	0.00%	63.23%	10.54%
	Totales	1.667	10.422	12.111	16.111	20.111	1.444	100%	100%	100%	100%	100%	100%	600%	100%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 19. Ponderación de pesos y puntajes de categorías – PPPCA para la categoría información

Criterios	Subcriterios	Propuesta A	Puntaje del criterio Propuesta A	Peso Wi	Ponderación peso y puntaje de criterio
Enfoque social (C2)	Alcance del impacto social en el presente.	1	1.333333333	51.04%	0.680541681
	Alcance del impacto social en el futuro.	1			
	Aceptación por la sociedad.	2			
Enfoque económico (C4)	Costo	3	2.285714286	22.65%	0.517667796
	Financiación	3			
	Depreciación	3			
	Valor de salvamento	1			
	Capacitación	2			
	Costo de sostenimiento futuro	2			
	Costo de actualización	2			
Enfoque pionero (C6)	Tipo de innovación.	3	2.333333333	19.00%	0.443407762
	Diferencia de la PIT con otras.	3			
	Tiempo desde la creación de la patente de la PIT	1			
Enfoque estratégico (C7)	Impacto en el desarrollo de actividades estratégicas.	2	2	7.31%	0.146164362
	Uso en otras situaciones no urgentes-importantes.	2			
<b>Total Puntaje por propuesta</b>		31			1.7877816

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Ponderación de Pesos y Puntajes de Categorías – PPPCA para la categoría Defensa

Criterios	Subcriterios	Propuesta B	Propuesta D	Puntaje del criterio Propuesta B	Puntaje del criterio Propuesta D	Peso Wi	Ponderación peso y puntaje de criterio Propuesta B	Ponderación peso y puntaje de criterio Propuesta D
Enfoque doctrinal (C1)	Acople a la doctrina actual.	3	3	2.6666667	2.333333333	55.09%	1.468933736	1.285317019
	Desarrollo de la doctrina militar	3	2					
	Incentivo de la práctica doctrinal	2	2					
Enfoque social (C2)	Alcance del impacto social en el presente.	2	2	2.3333333	2.333333333	18.62%	0.434525204	0.434525204
	Alcance del impacto social en el futuro.	3	2					
	Aceptación por la sociedad.	2	3					
Enfoque tecnológico (C3)	Adaptación al territorio	2	3	2	1.5	5.86%	0.117110431	0.087832823
	Capacitación en el uso de la PIT	1	0					
	Ciclo de vida	3	2					
	Alcance en la solución del problema	2	1					
Enfoque económico (C4)	Costo	2	2	1.7142857	1.571428571	4.92%	0.084306307	0.077280781
	Financiación	3	3					
	Depreciación	1	1					
	Valor de salvamento	2	1					
	Capacitación	1	1					
	Costo de sostenimiento futuro	1	2					
	Costo de actualización	2	1					
Enfoque pionero (C6)	Tipo de innovación.	3	2	2	1.666666667	4.98%	0.099629499	0.083024583
	Diferencia de la PIT con otras.	2	2					
	Tiempo desde la creación de la patente de la PIT	1	1					
Enfoque estratégico (C7)	Impacto en el desarrollo de actividades estratégicas.	3	2	2.5	2	10.54%	0.263440294	0.210752235
	Uso en otras situaciones no urgentes-importantes.	2	2					
<b>Total Puntaje por propuesta</b>		46	40				2.467945471	2.178732645

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21. Lista de PIT's ponderadas del ejemplo

Alternativas	Ponderación para cada alternativa
Propuesta A	1.7877816
Propuesta B	2.467945471
Propuesta D	2.178732645

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.2. Aplicación de la segunda fase

En esta etapa se calcula el producto de los puntajes de cada PIT y el grado de importancia relativa de cada categoría relacionada en la Tabla 14, y se organizan las propuestas, en orden descendente, como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Lista priorizada del ejemplo

Alternativas	Puntuación	Importancia relativa	Ponderación de Pesos y Puntajes de Categorías	Prioridad
Propuesta B	2.467945471	0.8469	2.090103019	1
Propuesta D	2.178732645	0.8469	1.845168677	2
Propuesta A	1.7877816	0.8345	1.491903745	3

Fuente: elaboración propia.

Esta información priorizada la presenta el ejército nacional al Ministerio de Defensa nacional para gestionar los recursos.

## 5. Conclusiones

El Modelo de Priorización para la Gestión de la Inversión de Innovaciones Tecnológicas para el Ejército Colombiano -MOPGIITEC, se basa en un modelamiento matemático, que permite a la fuerza militar contar con un juicio para seleccionar de manera objetiva las inversiones en desarrollo y/o adquisición de innovaciones tecnológicas a partir de la evaluación de criterios seleccionados por la misma institución a través de encuestas y entrevistas.

El modelo propuesto toma como base dos heurísticas utilizadas en evaluación de tecnología, dichos métodos son: la comparación por pares y el análisis de la Matriz de Eisenhower, el modelo consiste en organizar las propuestas de inversión de innovaciones tecnológicas de mayor a menor de acuerdo con diversos criterios y categorías de ponderación, considerando en última

instancia el costo de adquirir, capacitar y mantener una alternativa de innovación tecnológica.

La cantidad de alternativas seleccionadas por el Ministerio de defensa para las fuerzas militares incluyendo al ejército nacional se encuentra restringida por el presupuesto nacional asignado para tal fin.

Adicionalmente, el modelo propuesto cuenta con dos ventajas. De un lado su implementación permite la estandarización del proceso de evaluación de inversión en la adquisición o desarrollo de innovaciones tecnológicas en el Ejército, que puede ser usado también en unas organizaciones adscritas al Ministerio de Defensa. Por otra parte, al contar con un proceso que establece criterios y subcriterios fijos, tanto cualitativos como cuantitativos, la evaluación no depende exclusivamente de la opinión de las personas responsables en cada momento, lo que permite un proceso transparente que elimina posibles sesgos.

Al Ministerio de defensa se le recomienda seleccionar los proyectos de innovación de todas las fuerzas a través de la adaptación de este modelo y en función del presupuesto aprobado por dicho ministerio, para ello dado que el presupuesto a inversiones o PIT's es limitado, el MOPGIITEC propone seleccionar en el orden de priorización las propuestas, hasta que el costo acumulado, que será sencillamente el costo incrementado con cada PIT que se vaya seleccionando, se vaya acercando al presupuesto de inversión sin pasarse, en la Ecuación (10) se explica el costo acumulado, donde  $CC_k$  es el costo de la alternativa  $k$ ,  $C_{An}$  es el costo acumulado para el lugar  $n$ -ésimo. Luego las propuestas que estén en la parte inferior de la matriz de priorización de alternativas no serán tomadas en cuenta para su adquisición. Obsérvese en la Tabla 23, como se ubica el costo de cada alternativa en la Tabla de priorización.

$$C_{An} = \sum_{k=1}^n (CC_k) \quad (10)$$

Tabla 23. Matriz: Selección de las PIT'S en función del presupuesto

Jerarquización de alternativas	Costo $CC_k$	Costo acumulado
Primer Lugar: PIT 1	$CC_1$	$C_{An}=CC_1$
Segundo Lugar: PIT 2	$CC_2$	$C_{An}=CC_1+CC_2$
Tercer Lugar: PIT 3	$CC_3$	$C_{An}=CC_1+CC_2+CC_3$
⋮	⋮	⋮
N-ésimo Lugar: PIT $k$	$CC_k$	$C_{An}=CC_1+CC_2+CC_3++CC_k$

Fuente: elaboración propia.

La selección de alternativas concluye cuando se presentan las propuestas de mayor impacto, es decir todas aquellas que se encuentran de mayor a menor en la Tabla anterior, la cantidad de propuestas seleccionadas depende del tamaño de presupuesto que se encuentre aprobado por el ministerio de defensa nacional para la inversión en proyectos de generación y/o adquisición de tecnología.

El Modelo de Priorización para la Gestión de la Inversión de Innovaciones Tecnológicas para el Ejército Colombiano -MOPGIITEC, permite ser modificado según se requiera incrementar o eliminar criterios y subcriterios actuales de cada categoría. El alcance de este modelo no solo se limita a la fuerza pública, si no a cualquier empresa o entidad que requiera evaluar inversiones en desarrollo y/o adquisición de innovaciones tecnológicas, este alcance se logra modificando las categorías, criterios y subcriterios que determine pertinentes el lector.

Dado que las percepciones con respecto a la importancia relativa de las categorías es dinámica se sugiere evaluar las mismas periódicamente de modo tal que la herramienta no pierda vigencia en el tiempo.

La creación de un aplicativo o software que despliegue el MOPGIITEC por ordenador, permitirá desarrollar el modelo de forma rápida, única y exclusivamente ingresando los parámetros descritos en el modelo.

También, puede jugar el rol de una heurística base para investigadores que deseen construir otro tipo de modelos que permitan valorar la elección de activos, proyectos o intangibles.

### Agradecimientos

Producto derivado del desarrollo del proyecto de investigación INV-ING-2987 financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, vigencia 2019-2020.

### Referencias

- [1] S. González Valencia, “La innovación: base de desarrollo económico y social”, 2014 [En línea]. Disponible: <http://micrositios.mintic.gov.co/boletines/20140703/index.html>.
- [2] E. A. Buendía Rice, “El papel de la ventaja competitiva en el desarrollo económico de los países”, *Revista Análisis Económico UAM*, vol. 18, no. 69, pp. 55-78, 2013.
- [3] E. Morales, C. Ortiz, M. Arias, “Factores determinantes en el proceso de innovación: una mirada a la situación en Latinoamérica”, *Revista EAN*, no. 72, pp. 148-163, 2012.
- [4] C. Rueda Armengot, M. Peris Ortiz, “Toma de decisiones en situación de certeza, riesgo e incertidumbre”, trabajo de grado, Universidad Politécnica de Valencia, 2013.
- [5] O. P. Borgato, “Prácticas de innovación en la actualización militar de la doctrina del ejército nacional”, *INNOTECH Gestión*, no. 6, pp. 30-39, 2014.
- [6] S. Estrada, J. Heijs, “Comportamiento innovador y competitividad: factores explicativos de la conducta exportadora en México. El caso de Guanajuato”, *Revista Latinoamericana de Economía*, vol. 36, no. 143, pp. 113-143, 2005.
- [7] R. Facó de Albuquerque, “El paradigma tecnológico en el proceso de transformación del Ejército Brasileño”, *Estudios en seguridad y defensa*, vol. 8, no. 15, pp. 54-65, 2013, doi: 10.25062/1900-8325.182
- [8] L. Morán-Martínez, P. Romero Suárez, J. Odriozola Guitart, “Metodología para la gestión de la adquisición de tecnologías protegidas”, *Ingeniería Industrial*, vol. 35, no. 3, pp. 265-276, 2014.
- [9] A. A. Espitia Cubillos, J. A. Agudelo Calderón, Ó. Y. Buitrago Suescún, “Innovaciones tecnológicas en las fuerzas militares de los países del mundo”, *Revista Científica General José María Córdova*, vol. 18, no. 29, pp. 213-235, 2020.
- [10] L. J. Serrano Tamayo, “Aplicación metodología AHP para selección del buque de desembarco anfibio óptimo para la Armada Nacional”, *Estudios en Seguridad y Defensa*, vol. 8, no. 16, pp. 59-72, 2013, doi: 10.25062/1900-8325.76
- [11] C. A. Yajure, “Comparación de los métodos multicriterio AHP y AHP Difuso en la selección de la mejor tecnología para la producción de energía eléctrica a partir del carbón mineral”, *Scientia et Technica*, vol. 20, no. 3, pp. 255-260, 2015.

- [12] N. Bryson, A. Mobolurin, “An approach to using the analytic hierarchy for solving multiple criteria decision making problems”, *European Journal of Operational Research*, vol. 76, no. 3, pp. 440-454, 1994, doi: 10.1016/0377-2217(94)90279-8
- [13] T. L. Saaty, “How to make a decision: the analytic hierarchy process”, *European Journal of Operational Research*, vol. 48, pp. 9-26, 1990.
- [14] N. R. Suárez, “La gestión del tiempo”, trabajo de grado, Universidad de La Laguna, 2015.
- [15] J. A. Correa García, M. D. Arango Serna, C. E. Castaño Ríos, “Metodologías de valoración de activos tecnológicos. Una revisión”, *Pensamiento & Gestión*, no. 31, pp. 83-108, 2011.
- [16] Y. Milanés Guisado, F. M. Solís Cabrera, J. Navarrete Cortés, “Aproximaciones a la evaluación del impacto social de la ciencia, la tecnología y la innovación”, *ACIMED*, vol. 21, no. 2, pp. 161-183, 2010.
- [17] S. J. M. Marín, S. A. Aramburo, “Modelo de Simulación Dinámica para evaluar la inversión en capacidades de Innovación Tecnológica en la Industria Colombiana de Software”, *Espacios*, vol. 38, no. 9, pp. 3-13, 2017.
- [18] Z. Correa Correa, R. Erazo Rodríguez, M. Á. Rodríguez, “Estudio de la Gestión y de la Inversión en Innovación en pymes de la ciudad de Popayán – Colombia”, en *I Congreso Iberoamericano de investigación sobre MiPyme*, Quito, 2014.
- [19] B. Barona-Zuluaga, J. A. Rivera-Godoy, C. I. Aguilera-Cifuentes, P. A. Garizado-Román, “Financiación de la innovación en Colombia”, *Entramado*, vol. 11, no. 1, pp. 80-93, 2015.
- [20] F. Baltar, N. Gentile, “Métodos mixtos para el estudio de las decisiones estratégicas en las PyMEs”, en *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, Honolulu, USA, 2012.
- [21] Ministerio de Defensa Nacional de Colombia, “Visión de futuro de las fuerzas armadas”, *Imprenta Nacional de Colombia*, 2016.
- [22] C. C. Martínez, “Escribir para pensar: la doctrina militar como motor de innovación”, *bie3: Boletín IEEE*, no. 13, pp. 614-636, 2019.
- [23] J. A. Zapata Cortés, “Metodología para la implementación de tecnologías de la información y las comunicaciones TIC’s para soportar una estrategia de cadena de suministro esbelta”, trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, 2011.