



Universidad de Valladolid

# Estudio piloto de la prótesis manual desarrollada en programas de defensa

Leticia Ruiz Pérez

MÁSTER EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS  
Departamento De Organización De Empresas Y C.I.M.  
Universidad De Valladolid  
España



**INSISOC**  
SOCIAL SYSTEMS  
ENGINEERING CENTRE  
2021





**Universidad de Valladolid**

# Estudio piloto de la prótesis manual desarrollada en programas de defensa

Leticia Ruiz Pérez

MÁSTER EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS  
Departamento De Organización De Empresas Y C.I.M.  
Universidad De Valladolid

Valladolid, septiembre 2021

**Tutor**  
Jesús Pérez Martínez



## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Jesús, ya que su impulso ha contribuido enormemente a la culminación de este trabajo.



## RESUMEN

La tecnología militar ha sufrido una particular evolución, especialmente durante el siglo XX, que han propiciado muchas de las tecnologías que se utilizan hoy en día en el sector civil, y es objeto de este documento profundizar en las razones que han provocado este efecto, cómo se producen los desarrollos militares hoy día y cómo contribuye el sector civil en ello actualmente. Para ello es importante conocer el contexto que ha provocado el impulso del desarrollo tecnológico que proporcionó el sector militar y como, en otras circunstancias, dicho sector perdió cierto poder, lo que ha provocado que la defensa cambie su estrategia hacia lo que se conoce como “doble-uso”. El doble uso ha permitido que la tecnología militar continuase su desarrollo a un ritmo comparable a cómo lo hizo hasta antes de terminar la Guerra Fría.

Una vez habiendo profundizado sobre el funcionamiento de la defensa y sus particularidades, se propone la planificación de un proyecto en el que un desarrollo militar se transfiera a una entidad civil, con el propósito de adaptarlo para fines terapéuticos. La planificación se realizará utilizando la guía PMBoK en su sexta edición.

### Palabras Clave

Tecnología, militar, defensa, doble-uso, transferencia tecnológica, gestión.

## ABSTRACT

Military technology has undergone a characteristic evolution, especially during the 20th century. Because of that, a number of military technologies are widely used by civilians. This document tries to give a better insight on the reasons that provoked this effect, how military developments occur nowadays and how the civilian industry contributes to the military. For that matter, it is important to acknowledge the circumstances that drove the technological development by the military sector and how, in different circumstances, the military sector lost its power and therefore now follows an opposed strategy towards dual-use. Dual-use technologies have permitted the military industry to develop as it did until the end of the Cold War.

Moreover, once the necessary knowledge has been gathered regarding the defense sectors and its characteristics, the planification of a Project for the transfer of a military technology to a civil firm and later adaptation for therapeutical uses will be proposed. Such planification will be done using the sixth edition of the PMBok Guide.

### Keywords

Technology, military, defense, dual-use, technology transfer, management.



## INDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>I</b>
Palabras Clave .....	I
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>I</b>
Keywords .....	I
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Objetivo del Proyecto .....	1
Alcance del Proyecto .....	1
Motivación del Proyecto .....	1
Estructura del Documento .....	2
<b>Capítulo 1 LA TECNOLOGÍA MILITAR .....</b>	<b>3</b>
1.1 Definición de tecnología .....	3
1.2 Particularidades de la tecnología militar: introducción a la defensa .....	4
1.3 La tecnología militar .....	5
1.3.1. Materiales avanzados .....	6
1.3.2. Inteligencia artificial, aprendizaje automático y ciencia de datos .....	6
1.3.3. Sistemas autónomos y robots .....	7
1.3.4. Potencia, conversión, almacenamiento y transmisión energética .....	8
1.3.5. Sensores .....	8
1.3.6. Computación y electrónica avanzada .....	9
1.3.7. Tecnologías efectoras .....	9
1.4 La industria de defensa en España .....	10
1.4.1. Programas de Defensa en España .....	12
<b>Capítulo 2 EL “DOBLE USO” O “DUALIDAD” DE LA TECNOLOGÍA .....</b>	<b>15</b>
2.1 Introducción al concepto de “doble uso” .....	15
2.2 Ética y responsabilidad .....	16
2.3 Evolución de la tecnología militar hacia la dualidad .....	17
2.4 Impacto de la tecnología militar en el sector civil .....	18
2.4.1. Sectores favorecidos por I+D militar .....	20
2.4.2. Tecnologías /Productos de doble uso .....	21
2.5 Transferencia tecnológica en el doble-uso .....	24
2.5.1. Transferencia interna directa .....	25
2.5.2. Transferencia interna adaptativa .....	26

2.5.3. Transferencia externa directa.....	26
2.5.4. Transferencia externa adaptativa .....	27

**Capítulo 3 LA BÚSQUEDA DE LA VENTAJA COMPETITIVA: TECNOLOGÍAS MILITARES EMERGENTES Y DISRUPTIVAS ..... 29**

3.1 Carácter innovador del sector militar.....	29
3.2 Tecnologías emergentes.....	29
3.2.1. Nivel de madurez de la tecnología.....	30
3.3 Tecnologías disruptivas en la defensa .....	32
3.3.1. Ejemplos de proyectos fallidos .....	33
3.3.1.1 Razones del fracaso.....	33
3.3.1.1.1 La novedad.....	33
3.3.1.1.2 La incertidumbre .....	33
3.3.1.1.3 Complejidad .....	34
3.3.1.1.4 Interdependencia de proyectos.....	34
3.3.1.1.5 Limitación de recursos .....	34
3.3.1.1.6 Restricciones políticas en coste y plazo .....	35
3.3.1.2 Ejemplos de proyectos fallidos .....	35

**Capítulo 4 CARACTERÍSTICAS DE LA GESTIÓN DE LOS PROYECTOS DE DEFENSA ..... 37**

4.1 Conocimientos específicos .....	37
4.1.1. Los procesos de adquisición .....	37
4.1.2. “Hold-up” tecnológico.....	39
4.1.3. Niveles de contratación.....	39
4.1.3.1 Consorcios.....	41
4.2 Ciclo de vida del proyecto y métodos de control.....	42

**Capítulo 5 MEJORAMIENTO HUMANO, INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ÉTICA45**

5.1 Introducción.....	45
5.2 Mejoramiento humano.....	46
5.2.1. Doble uso dentro del mejoramiento humano .....	49
5.2.2. Ejemplos de proyectos de mejoramiento humano .....	50
5.3 Inteligencia artificial.....	52
5.3.1. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en defensa.....	53
5.3.2. Retos en la integración militar .....	54
5.3.2.1 La tecnología.....	55
5.3.2.2 Los procesos.....	55
5.3.2.3 Personal .....	55
5.3.2.4 La cultura .....	55

**Capítulo 6 PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO RELACIONADO CON LA DEFENSA Y EL DOBLE USO ..... 57**

6.1 Propuesta de planificación.....	57
-------------------------------------	----

6.1.1. Procesos de inicio .....	58
6.1.1.1 Acta de constitución .....	58
6.1.1.2 Identificación de los interesados .....	60
6.1.2. Procesos de planificación.....	62
6.1.2.1 Definición del alcance .....	62
6.1.2.1.1 Creación de la estructura de desglose de trabajo.....	66
6.1.2.1.2 Diccionario de la EDT.....	68
6.1.2.2 Estimación de los costes.....	73
6.1.2.3 Determinación del presupuesto .....	75
6.1.2.4 Planificación del involucramiento de los interesados .....	77
6.1.2.5 Definición y secuenciación de las actividades y estimación de la duración.....	84
6.1.2.6 Estimación de los recursos de las actividades .....	86
6.1.2.7 Identificación y análisis cualitativo de los riesgos .....	90
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>103</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>115</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>117</b>



## **INTRODUCCIÓN**

### **Objetivo del Proyecto**

El objetivo es el de planificar un proyecto que involucra una tecnología de doble uso, es decir, inicialmente ideada para fines militares (es decir, el combate), inicialmente un propósito “negativo” con la finalidad de destruir, pero que puede tener un uso secundario útil para la sociedad civil. Los desarrollos que ocurren en la defensa están normalmente protegidos por la confidencialidad, las barreras de entrada al sector militar y la cultura militar. Por lo tanto, es necesario comprender con anterioridad el funcionamiento de ese mercado, sobre todo si se espera el beneficio en la sociedad y la colaboración civil-militar en los actuales proyectos de la defensa. Una vez comprendido esto, se podrá plantear un proyecto de origen militar, con beneficios civiles, que pueda utilizarse como base para la planificación de proyectos. En resumen, los objetivos son los siguientes:

- Conocer la tecnología militar, su evolución en la historia y cómo se desarrolla en la actualidad.
- Profundizar en los conocimientos sobre la tecnología de doble-uso.
- Comprender la relación entre el sector militar y civil, la industria de defensa y su mercado para poder acceder a él.
- Obtener conocimientos sobre las aplicaciones militares que pueden tener más impacto (positivo) en la sociedad, por ejemplo, en tecnología biomédica.
- Reunir información sobre los procesos de gestión de la defensa, en concreto las contrataciones y adquisiciones.
- Encontrar una metodología de gestión apropiada para proyectos de naturaleza clínica, de tecnologías emergentes, de tecnologías destinadas al doble uso. identificar los procesos del PMBoK que pueden ser útiles para la planificación.

### **Alcance del Proyecto**

En este documento se pretende comprender las particularidades de la defensa para así plantear un marco para la gestión de aquellos proyectos que involucren la transferencia tecnológica desde el ámbito militar hacia el civil para continuar con el desarrollo de dicha tecnología para cumplir funciones diametralmente distintas.

El proyecto que se plantea consiste en el traspaso de una tecnología militar destinada a la fabricación de exoesqueletos, armaduras o robots de combate, para poder adaptarla para el uso como prótesis de mano. Además de la gestión, el trabajo del proyecto incluye un desarrollo y un estudio de viabilidad para el nuevo uso. Para ello, se conducirá un estudio piloto de carácter clínico para verificar su idoneidad.

### **Motivación del Proyecto**

El entorno militar y la defensa se caracteriza, entre otras cosas, por la falta de transparencia en sus procesos, tanto industriales como de gestión, especialmente aquellos relacionados con las

contrataciones y adquisiciones de tecnología. Sin embargo, desde que la industria militar se alimenta de los avances generados por el ingenio civil, son numerosas las colaboraciones que se crean entre entidades de ambos sectores con fines de investigación aplicada y desarrollos y, por tanto, sus barreras de entrada menos altas. Además, la defensa actualmente trabaja en el desarrollo de tecnologías que no sólo sean útiles para sus fines, sino que además puedan a la vez tener aplicaciones civiles.

En lo relativo a la gestión de proyectos, tal vez por la opacidad mencionada de la defensa, tampoco existen metodologías específicas para proyectos con carácter militar, de manera que los procesos requeridos para la dirección de proyectos de defensa no están recogidos en una guía específica. Puesto que el PMBoK es generalmente reconocido, es decir, es útil para la mayor parte de los proyectos, se adaptarán los procesos que describe para poder planificar la gestión del proyecto que se plantea en este documento.

## **Estructura del Documento**

El documento se estructura en capítulos, cada uno de ellos cubre un tema de interés distinto dentro del desarrollo tecnológico militar. Finalmente, en el último capítulo, se planteará la organización del proyecto descrito, intentando que todos los conceptos que se han tratado a lo largo del documento converjan a la hora de proponer la planificación.

## Capítulo 1 LA TECNOLOGÍA MILITAR

En este capítulo se hablará de lo que implica tecnología militar y de sus distintas aplicaciones, específicas para la culminación exitosa de los conflictos armados. También se hablará de lo que es la defensa y de cómo funciona su mercado en España, con algunos ejemplos de proyectos que se están realizando.

### 1.1 Definición de tecnología

La tecnología militar es la aplicación de la tecnología para hacer la guerra. Para entender todo lo que abarca el término “tecnología militar”, primero es necesario definir el concepto de tecnología, ya que a partir de esta definición se desglosarán otros conceptos a lo largo de este trabajo, y se resolverán algunas cuestiones.

Por ejemplo: ¿por qué es necesaria la inversión en tecnología militar? Si el fin último de la defensa y del sector militar es el de crear armas, ¿son éticas las investigaciones sobre tecnologías emergentes en el terreno militar? ¿cómo se justifican esas enormes inversiones de dinero, si sirven para la fabricación armamentística? ¿Cuál ha sido el proceso por el cual esa tecnología se ha trasladado al sector civil? ¿Se siguen las mismas dinámicas de transferencia tecnológica?

Volviendo a la definición de tecnología, no existe un consenso a la hora de definirla, ya que existen diferentes matices para definir que impactan en análisis posteriores, por ejemplo, a la hora de repartir responsabilidades o a la hora de evaluar la ética de las actividades relacionadas con la tecnología. Por ejemplo, se puede considerar tecnología únicamente a los productos resultantes del trabajo humano, ignorando por completo el proceso de generación de conocimiento que ha llevado a la fabricación de ese producto; conocimiento, que se podría utilizar en otras áreas. Otras definiciones, como por ejemplo la de Galtung (1978), también contempla las relaciones sociales y el modo de funcionamiento de la industria para ello, por lo que resulta una definición tan inclusiva que no permite analizar en profundidad las características particulares de la tecnología militar aplicada al sector civil. Una definición que encaja con el estudio que se va a realizar en este trabajo, es la de Autio y Laamanen (1995):

“La tecnología comprende la habilidad para reconocer problemas tecnológicos, la habilidad para desarrollar nuevos conceptos y soluciones tangibles a problemas técnicos, los conceptos y tangibles desarrollados para resolver problemas técnicos, y la habilidad para explotar dichos conceptos y tangibles de manera efectiva” (traducción propia).

Esta interpretación no es la más aceptada, pero se ha realizado desde el punto de vista del estudio de la transferencia tecnológica acontecida durante el siglo XX, y es la que se ha pensado más alineada con el contenido de este trabajo. Esto es porque en unas pocas líneas se incluye

conocimientos y habilidades científicas y técnicas, capital, procesos de producción y de investigación y principios y metodologías como formas de tecnología.

Esta definición coincide con la de Guilmartin (Guilmartin, 2020) sobre tecnología militar, que afirma que tecnología militar es aquella que permite la creación de armas, estructuras y equipos para la guerra, incluyendo el conocimiento necesario para producirlas, repararlas y reponerlas. Obviamente, la de Autio y Laamanen deja entrever que el proceso de generación de conocimiento puede tener varios caminos, mientras que la de Guilmartin sólo contempla el uso exclusivamente militar. En cualquier caso, coinciden en incluir todo lo necesario para la creación de productos que satisfagan las necesidades humanas.

## 1.2 Particularidades de la tecnología militar: introducción a la defensa

A lo largo de la Historia, han ocurrido conflictos violentos de diversa escala. Sin entrar en la discusión sobre la utilidad de las guerras, se entiende que la guerra se ha utilizado como último recurso para la resolución de conflictos, puesto que los tiempos de paz traen mayores beneficios que la participación en guerras que puedan tener como consecuencia un aumento de poder. Pero, no todas las sociedades tienen el mismo punto de vista acerca de la utilidad de la guerra: habrá sociedades más beligerantes y proclives a conflictos armados que otras. Las sociedades más pacíficas deberán tener la capacidad de defenderse frente a las más conflictivas, en el (cada vez más improbable) caso de que las últimas decidan atacar. Se entiende por tanto que la tecnología militar juega un papel de defensa propia en los países, siendo una de las herramientas que aseguran la seguridad de los ciudadanos. Se justifica en parte las inversiones militares de esta manera, pues exista el riesgo de que otras naciones desarrollen una tecnología militar potente, más avanzada en comparación con los demás países, y tengan intención de usarla.

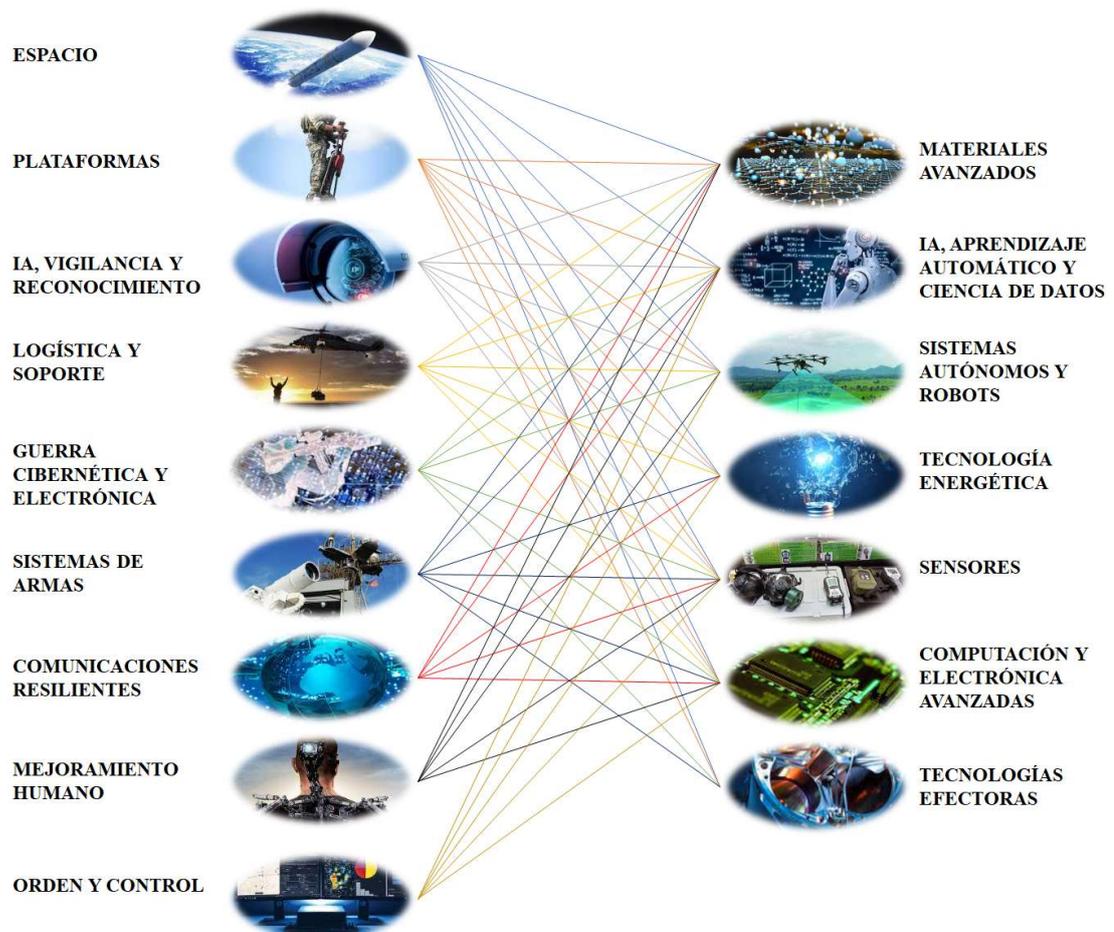
Se entiende seguridad nacional como un estado en el que se percibe una ausencia de amenazas. Este estado es esencial para el desarrollo social y económico de un país. Las amenazas se refieren tradicionalmente a los conflictos militares, aunque hoy en día los temas de seguridad nacional son más amplios, abarcando otras dimensiones como la ciberseguridad, seguridad ambiental, energética, económica y alimentaria, entre otras. Tradicionalmente se ha asumido que la percepción de la seguridad y de las amenazas depende de la fuerza militar, aunque existen otros factores ideológicos que influyen (Pérez de Armiño, 2015). El término seguridad es complejo y es objeto de estudio de las Relaciones Internacionales, una disciplina que estudia asuntos extranjeros y cuestiones del sistema internacional. Como ya se ha dicho, la defensa es una herramienta que se utiliza como medida para garantizar la seguridad, aunque no es la única.

Por otro lado, la “defensa” es protección frente a ataques. La defensa nacional se basa en el pleno ejercicio de los derechos y libertades públicas. A las Fuerzas Armadas se les ha asignado la misión de proveer de defensa, paz y seguridad a los estados. La industria de defensa es aquella que fabrica bienes para las fuerzas armadas; incluyen principalmente a las industrias referidas a las plataformas de uso militar: aeronáuticas, navales, terrestres, espacial, armamento y munición, sistemas electrónicos, de comunicaciones, contramedidas, simuladores y actividades de ingeniería,

informática y servicios para uso militar, como el equipamiento especial para personal militar y de apoyo logístico (Ministerio de Defensa, 2018).

### 1.3 La tecnología militar

Las tecnologías militares pueden agruparse en 7 familias de tecnologías, con potencial uso en 9 áreas de aplicación. Se puede visualizar en la Figura 1 la conexión entre las tecnologías y sus usos militares.



**Figura 1.** Relación de las aplicaciones militares (a la izquierda) frente a las tecnologías militares que las sustentan (a la derecha)

En los siguientes subapartados se describirán las tecnologías militares gracias a las cuales se consiguen dichas aplicaciones.

### 1.3.1. Materiales avanzados

Esta categoría incluye nuevos materiales diseñados para que su estructura y funcionalidad se adapten a situaciones específicas. También incluye materiales convencionales que se utilizan para mejorar el rendimiento de un producto o tecnología. Es una materia amplia que abarca desde nanotecnología e impresión 3D hasta aplicaciones en biología sintética y el desarrollo de materiales con nuevas estructuras moleculares, como el grafeno.

Por ejemplo, en defensa, se desarrollan materiales capaces de soportar temperaturas extremas, materiales excepcionalmente ligeros para armaduras o vehículos, mejorando su maniobrabilidad y supervivencia. También permitiría la rápida fabricación de componentes militares hechos a medida e incluso sistemas más complejos, bajo demanda. Asimismo, se están utilizando para mejorar la sensorización y el camuflaje, adaptándose al entorno.

### 1.3.2. Inteligencia artificial, aprendizaje automático y ciencia de datos

Se entiende como inteligencia artificial a la capacidad de las máquinas para realizar actividades propias del ser humano. El aprendizaje automático, o *machine learning* (ML), es una sub-disciplina de la inteligencia artificial, por la cual los sistemas computacionales son capaces de aprender de una serie de datos. Mediante la ciencia de datos, se puede obtener información valiosa a partir de una muestra de datos. Gracias a estas tres áreas, se están consiguiendo avances en procesamiento computacional, desarrollo de algoritmos, recolección y almacenamiento de datos y conectividad electrónica. Se utilizan para valorar y ofrecer recomendaciones que apoyen las decisiones que toman los seres humanos a la hora de desempeñar una actividad, o incluso incorporarlos a sistemas físicos o virtuales para que realicen acciones, siempre bajo la supervisión de una persona.

En defensa, la IA permite construir redes informáticas automatizadas, que es un método en el que el software es capaz de configurar, aprovisionar, gestionar y probar los dispositivos conectados a internet de manera automática, consiguiendo mejorar la eficiencia al reducir errores humanos y gastos operativos. De esta manera, se pueden detectar anomalías y vulnerabilidades en tiempo real. También tiene aplicaciones en logística, para mejorar y automatizar la gestión de stock. La monitorización en tiempo real de datos personales y de equipos permiten predecir problemas a través de los históricos, y así plantear mantenimientos preventivos, mejorando el rendimiento.

La defensa está inmersa en el desarrollo de sistemas autónomos, como vehículos o incluso armamento. Éstos son capaces de obtener información del entorno a través de sensores, y de comprenderlo, para así tomar decisiones y realizar tareas.

Gracias a estas disciplinas, se obtienen ventajas estratégicas ya que se incrementa el efecto militar, tomando decisiones más rápidas y mejores, con procesos que reparten mejor los recursos para conseguir objetivos. También permitirán el desarrollo de nuevos métodos de fabricación, que no son posibles únicamente por intervención humana. La IA se está explotando en los sectores comerciales, y la defensa puede aprovechar ese efecto. Asimismo, la defensa utilizará estas técnicas para sus propios retos militares, desarrollo ágil de soluciones para apoyar la capacidad militar,

desarrollo de algoritmos propios de defensa y solución de problemas durante la integración de la IA en los sistemas autónomos militares.

### 1.3.3. Sistemas autónomos y robots

Los sistemas autónomos toman datos del entorno a través de sensores; procesan esos datos utilizando algoritmos avanzados de aprendizaje automático, comprendiéndolos; y toman de decisiones a partir de esos datos para realizar tareas con el fin de cumplir los objetivos que se les ha asignado.

Los sistemas robóticos son máquinas automáticas que ejecutan acciones complejas de manera independiente o en conjunción con los humanos.

Estos sistemas pueden sustituir a los humanos en tareas que ocurran en entornos de alto riesgo. Maximizan la eficacia de la capacidad humana, ya que permite a las personas más dedicación para resolver problemas complejos, dejando otras actividades más sencillas a las máquinas. No obstante, las máquinas pueden superar a los humanos en gestión de amenazas cibernéticas.

Los sistemas autónomos han permitido la fabricación de enjambres. Los enjambres son conjuntos de vehículos autónomos de bajo coste (drones), que interactúan los unos con los otros atendiendo a un control central, de manera que se establece una relación de comunicaciones y un sistema de navegación común. El objetivo de este grupo de drones sincronizados es el de maximizar la probabilidad de alcanzar un objetivo y desestabilizar las defensas del objetivo. Por el contrario, los enjambres también tienen aplicaciones defensivas, ya que se usan para saturar los sistemas defensivos del enemigo o escuadrones de vehículos que colaboran para ejecutar un ataque electrónico (Sayler, 2020)

También se han fabricado vehículos no tripulados, los denominados UAVs (*unmanned autonomous vehicles*), que son aeronaves que operan bien por control remoto con diversos niveles de autonomía, existiendo también aeronaves completamente autónomas. De nuevo, se construyeron con el fin de sustituir a los humanos en misiones especialmente arriesgadas, aunque actualmente tienen otras aplicaciones incluyendo la vigilancia y otras actividades del sector civil, como la fotografía o agricultura, entre otras. De esta manera, se pueden realizar misiones militares en lugares que de otra manera sería imposible.

Parece que la colaboración entre humanos y sistemas autónomos tiene el potencial de cambiar la manera en la que se entiende la defensa, desde el nivel de operaciones militares tácticas o defensivas como la gestión. Asimismo, aumentaría la probabilidad de acertar en los objetivos en operaciones ofensivas, disminuyendo el número de víctimas civiles y materiales. Estos cambios deberían llevar consigo cambios en entrenamiento y doctrina, pues es posible que cambie la manera en la que se plantearían las guerras futuras (Singer, 2014).

### 1.3.4. Potencia, conversión, almacenamiento y transmisión energética

El almacenamiento y la conversión energética ofrecen métodos para el aprovechamiento de la energía desde una fuente, pudiendo preservarla para el futuro o transformarla. Esto incluye tecnologías consolidadas que aprovechan la potencia energética del entorno, como los combustibles fósiles, la energía nuclear y las renovables; o el almacenamiento, con baterías. Actualmente se está trabajando en la siguiente generación de baterías y en celdas de combustible. Esto permitiría que las plataformas autónomas se auto-sustentasen durante largos períodos, en entornos remotos y desafiantes. Permitiría la fabricación de sistemas electrónicos de muy bajo consumo, descubriendo nuevas capacidades, elevada durabilidad y tolerancias.

Estos sistemas energéticos se están empleando en la fabricación de armas de energía dirigida (láser), aquellas que transportan la energía a través de ondas electromagnéticas o partículas atómicas o subatómicas, pues este tipo de armas requieren de una elevada densidad energética para su funcionamiento.

Se espera que futuros desarrollos contribuyan a reducir el tamaño de tecnologías y habilitar capacidades en elementos más pequeños como vehículos blindados no tripulados e infantería. Las capacidades que se desarrollen en un futuro (guerras electrónicas, tecnologías anti drones, sensores multispectrales) provocarán un aumento de la demanda energética y de la necesidad de fuentes eficientes y ligeras. De igual manera, el sector civil tiene sus propios problemas energéticos, por lo que ambos sectores pueden aprovecharse de los avances realizados por el enemigo.

### 1.3.5. Sensores

Los sensores son capaces de detectar fenómenos físicos, generando una respuesta como la transmisión de información digital, o lanzar una alarma después de detectar un agente químico peligroso. Los datos que detectan los sensores, si se analizan y se procesan de manera adecuada, nos proporcionan entendimiento sobre el entorno en lo que operan, identificando amenazas. Incluyen sensores electromagnéticos, gravitatorios, acústicos, posicionamiento; químicos, biológicos, radiológicos y nucleares (CBRN); de explosivos, sensorización cuántica y fusión de sensores. Se instalan en plataformas que operan en una variedad de entornos y que necesitan detectar objetivos y funcionar a pesar de las técnicas empleadas por el adversario de contravigilancia.

Los sensores contribuyen a aumentar los conjuntos de datos del Internet de las Cosas para mejorar la comprensión sobre una situación y del uso de activos para actuar frente a dichas situaciones, tomando decisiones en los momentos oportunos. También permiten valorar el daño causado en operaciones tácticas.

Las investigaciones en este campo permitirán desarrollar sensores con mayor sensibilidad, a menores costes y con mayor manejabilidad (más portátiles). Incorporando IA y ML, se mejorará la comprensión e interpretación de la información que recojan. Los materiales avanzados que se

desarrollen permitirán la fabricación aditiva de sensores bajo demanda y más pequeños. A su vez, los avances computacionales aumentarán la viabilidad del procesamiento de datos.

### **1.3.6. Computación y electrónica avanzada**

Esta disciplina está relacionada con el procesamiento de la información, los sistemas que se pueden programar y la tecnología que los apoya. Incluye los microprocesadores tradicionales, chips específicos como las GPUs, matrices de puertas programables, circuitos integrados de aplicación específica y sistemas en chip. También incluye los elementos de apoyo como memorias y desarrollos de software necesarios, tecnologías de información emergentes como procesadores neuromórficos y computación cuántica y genética.

Estas tecnologías sirven como fundamento, como soporte de otros sistemas. Todos los sistemas y servicios de defensa actualmente cuentan con algún elemento programable, crítico para la capacidad de dichos sistemas y servicios. Por ejemplo, los sistemas de focalización de armas, procesamiento de los datos de los sensores o sistemas de control de vuelo. Puesto que la programación es flexible, permite la agilidad necesaria para afrontar las cambiantes amenazas.

Los desarrollos en defensa en esta área incluyen procesadores neuromórficos y unidades de procesamiento tensorial (TPUs) específicos para aplicaciones de ML. La computación cuántica se utilizará para resolver problemas complejos más eficazmente que la computación tradicional, y la computación genética para almacenar datos. Una vez que existan para una aplicación, se pueden utilizar para otras.

### **1.3.7. Tecnologías efectoras**

Se definen como aquellas que pretenden cambiar las propiedades de un objetivo. Al integrarse con otras tecnologías (como los sensores), crean sistemas de armas. Por ejemplo, explosivos y ojivas de nueva generación, guerra electrónica y cibernética o armas de energía dirigida (láser y radio frecuencias de alta intensidad).

Para la defensa, las posibilidades creadas estas nuevas tecnologías hacen urgente también una respuesta a las amenazas, que complementen a las armas tradicionales: para mantener los efectos letales de las tecnologías y para desarrollar métodos alternativos más allá de las operaciones letales, para alcanzar el objetivo deseado. Por ejemplo, esta tecnología se aplica en sofisticadas redes militares y su orden y control, sistemas defensivos de misiles de alta velocidad, sistemas no tripulados de nueva generación, ataques de enjambres frente a objetivos de alto valor, etc.

## 1.4 La industria de defensa en España

En España, la industria de defensa tiene un papel pequeño pero estratégico, ya que provee de bienes y servicios que contribuyen a la seguridad nacional. Se caracteriza por la creación de valor, la innovación, el uso de tecnologías avanzadas utilizables en otros sectores de la economía, el empleo de personal altamente cualificado. Tiene la capacidad de reducir las importaciones de material de defensa, creando riqueza y rentas. (Martí Sempere, 2013). La innovación está orientada a la búsqueda de la mejor solución de la sociedad, evitando aquellas inciertas, mientras que reutiliza tecnologías civiles para incrementar el valor del producto final. El único usuario final de la industria de defensa son las fuerzas armadas. El hecho de tener un cliente único aumenta la especialización de las prestaciones y funcionalidades de los productos. Su papel es esencial para hacer que esta industria sea eficiente y competitiva, ya que la capacidad de compra del Estado es una ayuda para fomentar la innovación y, en consecuencia, la formación de tejido industrial. No obstante, su producción es costosa por la constante necesidad de innovación debido a la fuerte competencia internacional. Por otro lado, las características de sus productos hacen difícil la transferencia a otros sectores económicos (incurriendo en elevados costes de oportunidad).

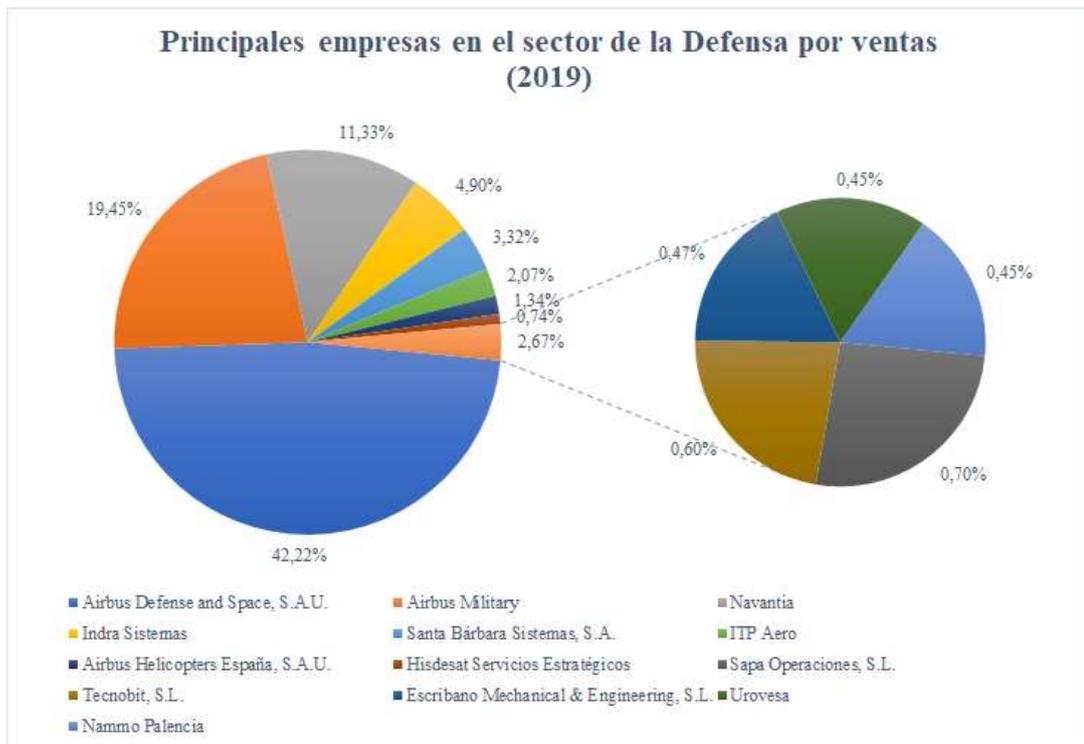
España ocupa el puesto número 17 en un *ranking* por países con mayor gasto militar elaborado por el Instituto Internacional de Estudios para la Paz de Estocolmo (SIPRI) en el año 2020, siendo el sexto en Europa. El gasto militar constituye aproximadamente el 1,4% del PIB. El país que más dinero gasta en defensa es Estados Unidos, dedicando casi el triple que el siguiente país en la lista, China.



Figura 2:. Fachada de la Fábrica de Armas de Palencia

Actualmente, el sector en España está conformado por aproximadamente 500 empresas, distribuidas en diferentes subsectores, de acuerdo con el Ministerio de Defensa en su informe sobre el sector industrial de defensa en España en el año 2019 (Dirección General de Armamento y Material., 2019). Este informe incluye a las empresas que han declarado ventas a la defensa; y empresas que exclusivamente han realizado ventas en el ámbito civil, pero que se consideran

potenciales proveedoras de productos para defensa. Este dato es relativamente sorprendente ya que, debido a las particularidades del sector, el mercado se conforma de un número pequeño de empresas; sin embargo, el doble uso y el apoyo a pymes para desarrollar productos con potencial uso dual (por ejemplo, programas exclusivos para doble uso dirigidas a pymes de la Comisión Europea) ha permitido la inclusión de compañías con gran potencial innovador en un sector que tradicionalmente era bastante hermético. Otro dato que señala el informe es que, efectivamente, las ventas de defensa (tanto nacionales como internacionales) se concentran en un grupo reducido de empresas, con 13 empresas reuniendo el 83% de todo el mercado de la defensa. El principal sector dentro de la defensa en España es el aeronáutico, con la empresa Airbus Defense and Space como la empresa con más peso en ese ámbito.



**Figura 3:** Principales empresas del sector de la defensa en España por ventas. Fuente: La industria de defensa en España. Informe-2019. Elaboración propia



**Figura 4:** Ventas de defensa por sector. Fuente: Ministerio de Defensa. Las ventas incluyen las ventas directas e indirectas al Ministerio de Defensa, a través de subcontrataciones o como ventas internacionales de defensa, realizadas por empresas del sector de la defensa.

#### 1.4.1. Programas de Defensa en España

Los grandes productos de defensa que se desarrollan ocurren dentro de programas de obtención, nacionales o cooperativos, y que se entienden como grandes oportunidades para el desarrollo. Los programas comprenden empresas de defensa como otras firmas del sector civil, que proveen de conocimientos sobre tecnologías de la comunicación e información y electrónica. Las inversiones en defensa repercuten de esta manera, gracias al carácter dual, sobre el entramado empresarial civil. Dentro de estos programas, se enmarcan los Programas Especiales de Armamento, financiados por el Ministerio de Defensa. Sus beneficios se miden en términos de desarrollo de tecnología, transferencia tecnológica hacia otros sectores y en su capacidad de generar empleo y actividad en industrias auxiliares. En 2019, la inversión en defensa ascendió a 15,420.8 millones de euros. Los principales PEA consistieron en el desarrollo de los siguientes productos de defensa:

- Submarino S-80, se trata del mayor reto industrial y tecnológico al que jamás se ha enfrentado la defensa nacional. El objetivo es la fabricación de 4 buques de última generación, desarrollados completamente en España. El pasado mayo de 2021 Navantia, compañía española encargada de su fabricación, puso a flote el submarino S-81 Isaac Peral, llegando a un importante hito en el programa.



Figura 5: Imagen del submarino S-81

- Helicóptero Multipropósito NH-90, trata del desarrollo y adquisición de una serie de helicópteros destinados a sustituir a los modelos anteriores. El contratista principal del programa es Airbus Helicopters España, como miembro del consorcio NH Industries.
- Satélite Spainsat y Xtar-Eur. El objetivo es de la la definición, implantación y explotación de los satélites de comunicaciones gubernamentales en banda X para el Ministerio de Defensa. el contratista principal fue una empresa norteamericana, Space System Loral, y contó con la colaboración de distintas compañías españolas: EADS-CASA Espacio, RYMSA, SENER, GMV e INDRA.
- Fragata F-110, con Navantia como contratista principal.

Y otros PEA como el Vehículo blindado “Pizarro”, el Buque de Acción Marítima (BAM), el Vehículo VAMTAC, el sistema de comunicaciones SECOMSAT, el Sistema conjunto de telecomunicaciones militares y el Programa Santiago.



## Capítulo 2 EL “DOBLE USO” O “DUALIDAD” DE LA TECNOLOGÍA

Este capítulo está dedicado al doble uso, un concepto que cambió el paradigma del funcionamiento del mercado de la defensa después de la Guerra Fría. Puesto que el doble uso implica al sector civil, existen ciertas cuestiones éticas que resolver a la hora de emprender una investigación o un desarrollo que derive en una tecnología de doble uso. Se hablará también de cómo ambos sectores se han beneficiado mutuamente, y se expondrán ejemplos de productos cotidianos que surgieron de esfuerzos militares. Finalmente, se describirán diversos mecanismos que se emplean para que ocurra la transferencia tecnológica entre los sectores.

### 2.1 Introducción al concepto de “doble uso”

Si el concepto de tecnología ha sido difícil de definir, debido a la falta de consenso en cuanto a qué abarca (si se limita al objeto fabricado por el ser humano, o incluye el conocimiento y metodologías detrás del desarrollo de dicho objeto), lo mismo ha ocurrido con el “doble uso”, o “uso dual”. Una tecnología tiene un propósito, en principio positivo, o al menos se idea con un fin positivo: satisfacer alguna necesidad del ser humano, de la naturaleza que sea. No obstante, algunas tecnologías pueden tener otros usos, igualmente bienintencionados y, otras, pueden ser utilizadas con el propósito de causar daño, a cosas, edificios o personas, sin que este mal uso fuese (inicialmente) intencionado por el inventor de la tecnología, o por el investigador que lo hizo posible. Aquellas tecnologías con una intención principal beneficiosa, pero que podría usarse con un propósito negativo de causar daño, se las define como tecnología de doble uso. El doble uso ha sido la excusa para justificar las enormes inversiones en tecnología que efectúa la defensa, especialmente una vez finalizada la Guerra Fría (Davies, 1994; Gallart, 2008).

El término “doble uso” se ha utilizado indistintamente para referirse a tecnologías, investigaciones, experimentos o productos <sup>1</sup>(Forge, 2010). La expresión se utilizó por primera vez en un informe elaborado en 1993 por la Oficina de Evaluación de Tecnologías de los Estados Unidos (OTA). Este informe trata sobre la relación entre las armas de destrucción masiva y de las distintas tecnologías que, sin intención, provocaron su fabricación, señalando la importancia de controlar la viabilidad de las segundas en función de sus aplicaciones secundarias. Es decir, este informe, incluso cuando no había discusión sobre lo que implicaba el doble uso, reconoce el uso de tecnologías legítimas para fabricar armas de alta capacidad destructiva. Aquí se comienza a vislumbrar la dualidad, entre el sector militar y el sector civil. El primero, con la intención de fabricar armas tácticas y defensivas; el segundo, para facilitar la vida de las personas y resolver sus necesidades cotidianas. De hecho,

---

<sup>1</sup> Se ha traducido la palabra “artifact”, encontrada en muchos textos, como “producto”, entendiéndose artefacto o producto como el resultado la aplicación de una tecnología, y que tiene una utilidad.

la definición del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC), define la tecnología de doble uso como aquella de origen civil con aplicaciones en el ámbito militar.

En consecuencia, tanto investigación, como productos como tecnología son ejemplos de doble uso. Molas-Gallart, (1997) describió los siguientes tipos de doble uso, desde un punto de vista más industrial, por el cual el doble uso de las tecnologías es una excusa para expandirse a mercados distintos a los cuales estaban destinadas en primer lugar (militar o civil), resumidos en la Figura 6:

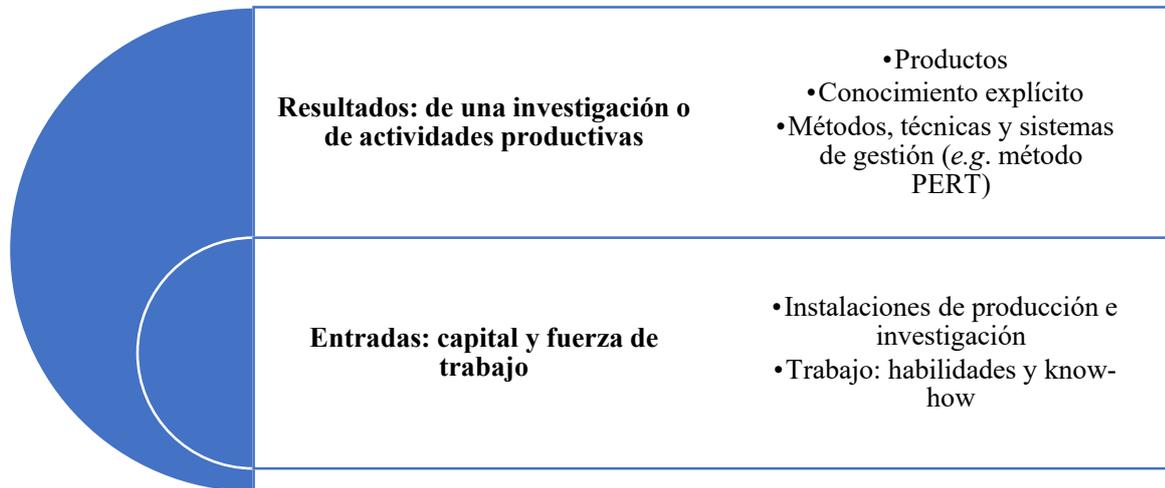


Figura 6: Resumen de elementos considerados como doble uso

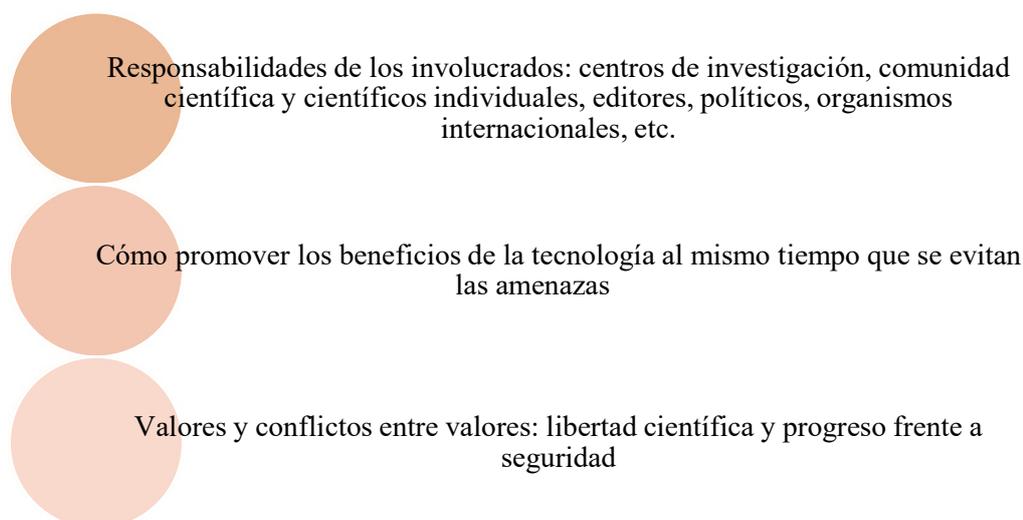
## 2.2 Ética y responsabilidad

El doble uso, si se piensa por un instante, da lugar a una serie de interrogantes: ¿es buena idea investigar una tecnología, o generar conocimiento sobre algo si ello se puede volver contra nosotros? ¿los beneficios contrarrestan las posibles amenazas? En caso de que alguien malintencionado utilizase una tecnología de doble uso para destruir, ¿la responsabilidad recaería sobre quien ha usado mal la tecnología? ¿de qué parte serían responsables los centros de investigación, la comunidad científica, o incluso los editores de revistas de ciencia? ¿qué hay sobre la transferencia de estas tecnologías? ¿cuáles terminan teniendo aplicaciones reales y cuáles no, y por qué? Algunos autores (Pustovit & Williams, 2010; Rychnovská, 2016) hablan del dilema del doble uso, un término que pretende profundizar más sobre las cuestiones éticas relacionadas con la investigación pura o aplicada, que pudiese producir un efecto secundario negativo en el ser humano.

Especialmente, el doble uso tiene especial importancia cuando se debate sobre armas biológicas o terrorismo biológico, y a la hora de determinar políticas científicas (Selgelid, 2010). Este autor reflexiona en su artículo sobre cómo debería gobernarse la investigación de doble uso, teniendo en cuenta que existe libertad académica, de investigación y de expresión, y que limitar las investigaciones podría suponer un retraso en el desarrollo científico; por tanto, debería existir un

equilibrio entre la seguridad y el progreso (Ehni, 2008). Ciertamente, no es un tema de fácil solución, especialmente cuando la seguridad de la población está involucrada.

El doble uso supone un riesgo en cuanto a que cabe la posibilidad de que una persona, grupo de personas o incluso otros estados quieran utilizar una investigación, un producto o una tecnología para fabricar armas. Se entiende que, si estas personas no tienen acceso a dichas investigaciones, productos o tecnologías, entonces la amenaza no existiría. Por tanto, tiene que ser responsabilidad de los estados la elaboración de políticas internas o de promover moratorias voluntarias para regular y controlar el doble uso. En consecuencia, los estados más avanzados científica y técnicamente hablando serían aquellos que aplican dichas políticas de control, puesto que tienen acceso preferente a esas tecnologías (Forge, 2010). Las cuestiones que deben resolverse antes de plantear un uso dual en algún elemento, producto o tecnología se resumen en la Figura 7:



**Figura 7:** Cuestiones que deben resolverse al enfrentarse a una investigación de potencial doble uso

## 2.3 Evolución de la tecnología militar hacia la dualidad

Según lo especificado en líneas anteriores, el doble uso tiene un propósito principal positivo pero que según el tiempo y el lugar puede usarse para la fabricación de armas sofisticadas. En capítulos anteriores se ha definido el término “tecnología militar” como aquella destinada a la fabricación de armas. Si atendemos a nuestros valores, las armas no tienen un propósito bueno, incluso cuando su fabricación se justifica por la defensa de un país; las armas sirven para destruir. No obstante, un gran número de tecnologías y productos que fueron creados por los militares son ampliamente usados en el sector civil: internet, el GPS, algunos vehículos y aeronaves, etc.

En este apartado se hablará del doble uso del sector militar, cambio de paradigma en la I+D e industria militar desde el final de la Guerra Fría y de los mecanismos de transferencia tecnológica que han provocados que hoy día se use de manera cotidiana entre civiles. Esto se entiende porque

para la creación de armas se utilizan tecnologías genéricas creadas en el sector militar, y más adelante en el civil.

La Segunda Guerra Mundial propició un entorno de fuerte desarrollo tecnológico, que impactó a la economía. Por ejemplo, provocó la invención de los semiconductores además de otros avances en sectores como la aeronáutica, las comunicaciones o la energía nuclear. Las tensiones surgidas con motivo de la Guerra Fría supusieron asimismo una necesidad de inversión en I+D militar, con el objetivo de encontrar una tecnología que sobresaliese de las de otros países, creando así una ventaja sobre ellos, y para garantizar la seguridad del país en caso de ataque (Lin, 2010; Pfaff, 2020).

Se hablará en este trabajo del caso particular de los Estados Unidos, por ser el país occidental que más recursos ha invertido en la I+D militar, aunque durante los años de la Guerra Fría la inversión en I+D también fue muy elevada en países como Rusia o Reino Unido (Perani, 1997). Sus proyectos se ejecutaban en compañías privadas, en colaboración con centros de investigación y laboratorios militares, subvencionadas por financiación pública a fondo perdido y operando bajo las estrictas guías de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos. Estas investigaciones tienen además otra serie de efectos indirectos: la creación de infraestructuras y de capital humano capacitados para otros sectores de actividad. Estas altísimas inversiones produjeron, en consecuencia, la creación de productos y tecnologías que eventualmente encontraron aplicaciones en el sector civil. Es difícil saber qué porcentaje de las inversiones finalmente obtuvo beneficios por tener uso civil, es decir, la relación entre el crecimiento económico de una nación a través del desarrollo de su industria de defensa. Aunque es cierto que numerosas empresas se han beneficiado de los derrames tecnológicos de la defensa, no todas las innovaciones militares de ese momento tuvieron un impacto en el sector civil; para que eso ocurra, las necesidades de los militares y los civiles deben ser cercanas y, aunque se diese esa circunstancia, aún sería necesaria una costosa adaptación de la tecnología (Martí Sempere, 2013). Por ello, los costes de las innovaciones civiles obtenidas por este mecanismo son muy elevadas (Leske, 2018).

## 2.4 Impacto de la tecnología militar en el sector civil

Existen diversos mecanismos por los cuales los sectores civiles de actividad se benefician de la I+D militar (Cowan & Foray, 1995):

- Por transferencia directa de diseños específicos a aplicaciones comerciales, por ejemplo, motores de reacción, diseños de fuselaje de aviones y motores de submarino para locomotoras.
- Por incorporación de resultados para mejorar productos o procesos que ya están ampliamente difundidos en sectores económicos, como pueden ser los semiconductores o los ordenadores.
- Por información que puede dar rentabilidad a nuevos desarrollos civiles.

Una vez terminada la Guerra Fría y, especialmente tras la caída del Muro de Berlín, el contexto sociopolítico cambió, y las tensiones y amenazas de grandes conflictos internacionales disminuyeron. En consecuencia, las necesidades de inversión en tecnología militar en cuanto a la

defensa. Este cambio produjo una reversión en la dirección en la cual se producían las innovaciones: si antes la transferencia se producía de lo militar a lo civil, el flujo se revierte tras el final de la Guerra Fría. Se entiende que la defensa pierde cierto respaldo político (Martí Sempere, 2018), y es difícil justificar en este contexto las inversiones realizadas en el pasado. Ya no sólo es distinto el escenario político, sino que además se producen innovaciones dentro de los sectores civiles de actividad, que provocan un aumento del conocimiento y mejoras en las tecnologías y en los procesos de producción. La innovación civil dejó de depender de las inversiones en el terreno militar para evolucionar por su cuenta, aunque la tecnología militar sigue siendo relevante desde el punto de vista del doble uso (Avadikyan et al., 2005).

Además del contexto, existen otros factores que determinan la transferencia tecnológica del sector militar al civil:

- La naturaleza de las tecnologías: la tecnología militar se caracteriza por un elevado rendimiento y complejidad. Dicha complejidad se debe a que, normalmente, las restricciones de costes limitan la posibilidad de desarrollar productos militares a través de estándares industriales habituales. Según estos autores, la mayor parte de las tecnologías que se transfieren del sector militar al civil lo hacen porque tienen doble uso. Otros factores que determinan la difusión son el carácter genérico de la tecnología y su grado de madurez. En general, si el sector militar desarrolla ampliamente una tecnología, sólo servirá para cubrir sus necesidades específicas. Por tanto, cuanto más madura es una tecnología militar, menos posibilidades tendrá de transferirse a los civiles.
- La naturaleza de la organización: tiene que ver con la voluntad de la organización para difundir el conocimiento que ha generado de sus investigaciones básicas y aplicadas y de desarrollo de la tecnología. Los grandes proyectos militares tienen características particulares, y en principio las organizaciones que se crean para ejecutarlos no son proclives a la difusión de información, la cual suele ser muy especializada y se suele mantener en secreto (especialmente aquella sobre las tecnologías más estratégicas, las que pueden proveer de una ventaja técnica frente a otros países). Por tanto, el movimiento de información entre departamentos queda ralentizada. Los proyectos militares se ejecutan en una pequeña red de empresas organizada de manera jerárquica, de manera que integran todas las competencias necesarias para realizarlos. Si todas las competencias están integradas en una red, entonces no requieren difusión de conocimiento, puesto que ya disponen de ellos. Hoy en día, el doble uso ha abierto esa estructura, permitiendo la colaboración entre empresas.
- La relación con los usuarios: una comunicación fluida con los usuarios finales de la tecnología permite conocer sus necesidades reales, en consecuencia, promoviendo la mejora continua tanto de productos como de tecnología. Sin embargo, los proyectos militares normalmente solo tienen un “cliente”: el Estado. Las competencias del usuario y del proveedor son complementarias.

Entonces, se pueden sacar algunas conclusiones sobre la I+D militar que se ha transferido al uso de la población general:

- Sólo aquellas tecnologías o productos con doble uso se han transferido del sector militar al civil. Estas tecnologías, que comenzaron su desarrollo en el sector militar son bien genéricas y relativamente poco desarrolladas (en tanto que sirven para un fin militar) o bien han servido para satisfacer necesidades que han coincidido.
- Lo anterior es lógico, puesto que la defensa se ha dedicado a la producción militar, más hacia los desarrollos y menos orientada a la investigación básica. Por tanto, la probabilidad de doble uso disminuye.
- Además, la tecnología y la difusión del conocimiento normalmente están limitados al sector militar, por tanto, la transferencia tecnológica se ralentiza.
- No obstante, el cambio de paradigma en la I+D de defensa, con mucha menos financiación pública, ha provocado que el doble uso sea una buena manera de justificar las inversiones en I+D militar. Es decir, para la producción de bienes que puedan expandirse al sector civil y obtener una rentabilidad de ello.

### 2.4.1. Sectores favorecidos por I+D militar

La innovación civil avanza a ritmos muy rápidos, y la tecnología militar, impulsado por el doble uso, aprovecha este hecho (Stowsky, 2004). Por otro lado, la defensa tiene un papel social importante, y sus desarrollos proveen de trabajo y actividad a los sectores civiles. En la Figura 8 se exponen los sectores civiles en España que han aprovechado tecnologías militares para su crecimiento, y que actualmente trabajan estrechamente con la defensa para el desarrollo de productos, tecnologías y equipamientos (Dirección General de Armamento y Material., 2019).



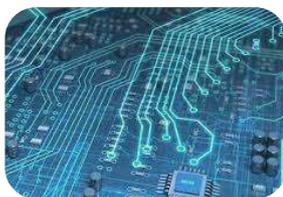
Naval



Terrestre



Aeronáutico



Electrónico



Telecomunicaciones



Computación

**Figura 8:** Resumen de los sectores civiles que utilizan tecnología militar

## 2.4.2. Tecnologías /Productos de doble uso

La Comisión Europea clasifica los productos de doble uso en 10 categorías, según se puede ver en el Anexo a la Regulación CE 428/2009. Las categorías en cuestión son las siguientes:

- Materiales nucleares, instalaciones y equipos.
- Materiales especiales y equipos relacionados.
- Procesamiento de materiales.
- Electrónica.
- Computación.
- Telecomunicaciones y seguridad de la información.
- Sensores y láseres.
- Navegación y aviónica.
- Marina.
- Propulsión y aeroespacial.

En este y en el anexo IV se encuentra toda la lista detallada de tecnologías, productos y equipos considerados como de uso doble, muy específica con el fin de que no se generen dudas sobre qué se considera como tal. A continuación, en la Tabla 1 se expone una lista con algunos productos que surgieron dentro del contexto militar y que luego encontraron usos civiles:

**Tabla 1:** Ejemplos de productos/tecnologías de doble uso. En este apartado se han añadido los productos más ejemplificadores y llamativos, pero existen productos a nivel de componentes que están considerados como doble uso

Producto/tecnología	Uso militar (principal)	Uso civil	Ejemplo
<b>Fotografía digital (1970s)</b>	Tareas de espionaje y vigilancia	Cámaras digitales	
<b>Walkie-talkies (1940s)</b>	Uso de infantería y artillería, comunicaciones entre tripulantes de tanques	Radio comunicaciones privadas, seguridad, etc.	
<b>Ambulancias (1480s)</b>	Comenzaron como coches de caballos para recoger a los heridos en el campo de batalla.	Transporte de heridos a centros médicos.	

<p><b>Cinta adhesiva</b></p>	<p>Reparación de equipos militares, vehículos y armas, por resistencia al agua y suciedad.</p>	<p>Múltiples usos, incluyendo reparaciones.</p>	
<p><b>Comida enlatada</b></p>	<p>Nutrir a soldados en entornos sin acceso a alimentos, por ser una forma barata de conservación.</p>	<p>Conservas de alimentos.</p>	
<p><b>Drones</b></p>	<p>Vehículo aéreo no tripulado, inspección de campos de batallas, misiones arriesgadas, vigilancia, enjambres de drones para ataque o defensa etc.</p>	<p>Usos en agricultura, fotografía, reparto de mercancías (alimentos, medicamentos, como labor humanitaria)</p>	
<p><b>Bancos de sangre y transfusiones</b></p>	<p>Rápido desarrollo de técnicas de transfusión y de conservación de la sangre, debido a la Primera Guerra Mundial</p>	<p>Medicina</p>	
<p><b>Visión nocturna (1940s)</b></p>	<p>Adaptación en entornos con baja visibilidad o sin luz</p>	<p>Fotografía, mejora de condiciones de seguridad en vehículos, sistemas de vigilancia.</p>	
<p><b>Gasas sanitarias (1920s)</b></p>	<p>Tratamiento médico en soldados heridos en el campo de batalla</p>	<p>Usos médicos, higiene. Posterior desarrollo de productos de higiene menstrual.</p>	

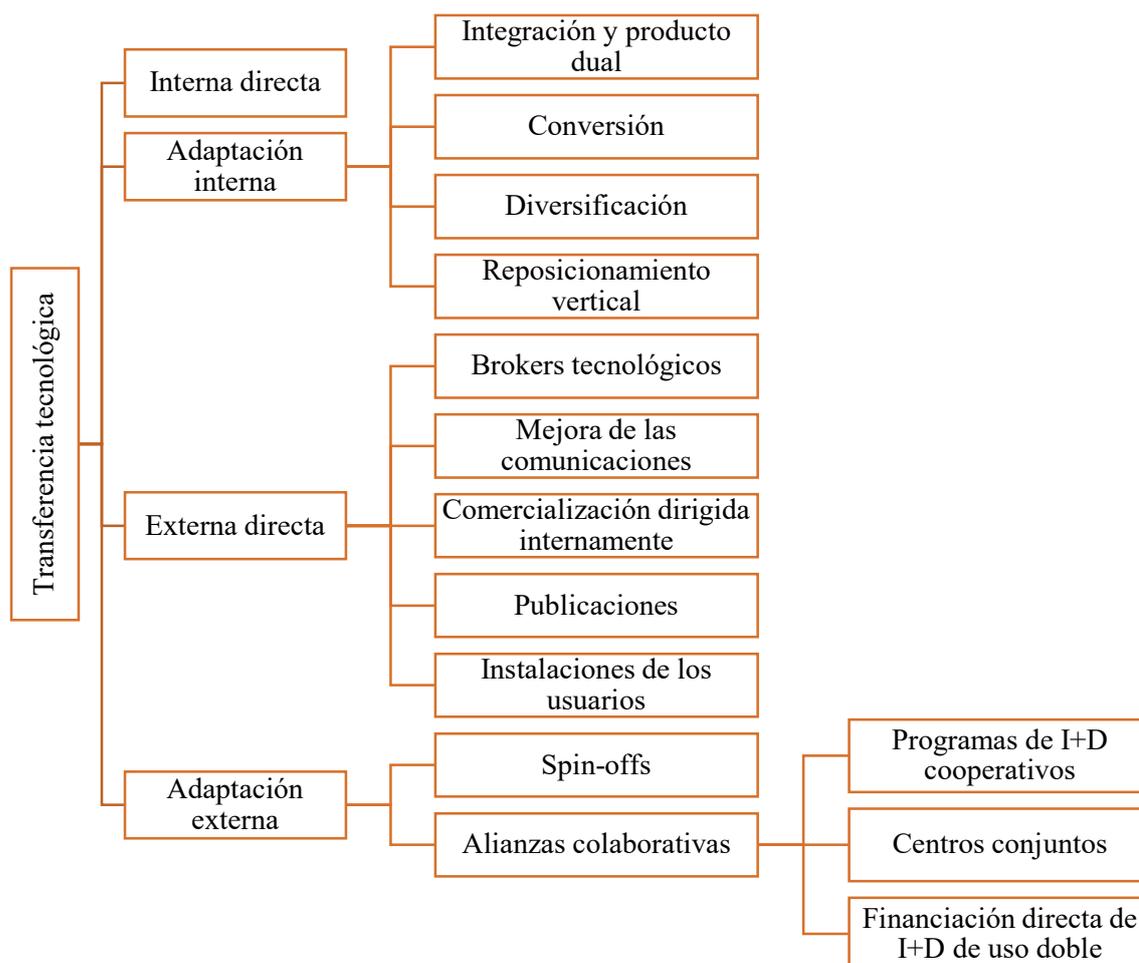
<p><b>EpiPen</b></p>	<p>Autoinyector en caso de exposición a toxinas y agentes químicos nerviosos.</p>	<p>Suministro de medicamentos, como la adrenalina, para paliar reacciones alérgicas severas</p>	
<p><b>Liofilización (1900s)</b></p>	<p>Para conservación del suero sanguíneo durante el transporte</p>	<p>Conservación de alimentos, medicamentos, etc.</p>	
<p><b>Radar (1930s)</b></p>	<p>Estudio de datos sobre el clima, para predicciones (radar meteorológico). Detección de naves (aire y mar), misiles, vehículos a motor, etc.</p>	<p>Análisis meteorológico. De pruebas con el radar se descubrió la radiación por microondas (1970s), que se usa en los hogares para alimentación y en la industria como método de calentamiento.</p>	
<p><b>Motores de propulsión (1940s)</b></p>	<p>Aviación, fighters y bombarderos</p>	<p>Aviación comercial</p>	
<p><b>Superpegamento (1950s)</b></p>	<p>Fabricación de armas, aunque fue rechazado como uso militar</p>	<p>Múltiples usos</p>	
<p><b>Internet (1960s)</b></p>	<p>Compartir información en tiempo real. Creación de redes de ordenadores fiables.</p>	<p>Comunicación, compartir información, entretenimiento, comercio electrónico, etc.</p>	

<p><b>GPS (1970s)</b></p>	<p>Identificación de objetos, mejoras en mapeo y rastreo de trayectorias de aviones y posición de soldados en tierra, mejora de la precisión.</p>	<p>Sistemas de navegación y rastreo personal.</p>	
<p><b>Penicilina (1928)</b></p>	<p>Descubrimiento de Alexander Fleming, en trabajos sobre antisépticos para soldados</p>	<p>Antibiótico</p>	
<p><b>Tecnología nuclear</b></p>	<p>Desarrollo de armas nucleares</p>	<p>Energía nuclear, equipamiento médico que usa radiación.</p>	

## 2.5 Transferencia tecnológica en el doble-uso

Existen diversos mecanismos para la transferencia de tecnologías de uso doble desde el ámbito militar al civil. Depende mucho del alcance del uso doble (si es un producto final, o un proceso) y del estado de desarrollo de la tecnología y su potencial doble uso. Estos mecanismos se resumen en la Figura 9.

Las transferencias tecnológicas pueden ocurrir entre unidades distintas de la misma compañía, o entre compañías, existiendo transferencia interna y externa. Además, puede ocurrir que una tecnología transferida necesite ser adaptada para cumplir los requerimientos, distinguiéndose mecanismos que propician la transferencia directa, siendo el receptor de la tecnología quien se encarga de su adaptación; y adaptativa o aquella en la que existen políticas que tienen el objetivo de adaptar las tecnologías transferidas a sus nuevas aplicaciones, por lo que exige cierta colaboración entre los implicados. La transferencia directa no requiere de colaboración, pero sí de la responsabilidad de quien recibe la tecnología de tener la capacidad suficiente para incorporar la nueva tecnología a su forma de negocio.



**Figura 9:** Resumen de los diversos mecanismos para la transferencia de tecnologías de doble-uso

### 2.5.1. Transferencia interna directa

El objetivo de este mecanismo es el de usar la tecnología de doble uso en otra aplicación distinta a la intención original, sin que haya ningún cambio en la estructura de la organización. Las grandes firmas de defensa que producen tecnologías de doble uso tienen sus operaciones civiles y militares separadas, y la transferencia interna directa mantendrá dicha operativa. La división que reciba la tecnología será responsable de continuar el desarrollo y de realizar la explotación comercial.

Esto ocurre, por ejemplo, cuando se transfieren los resultados de las actividades de investigación y desarrollo. También, cuando una compañía dispone de tecnologías genéricas (de potencial doble uso) que se transfieren continuamente entre divisiones civiles y militares, aunque ambas estén separadas. Cada división usa las tecnologías genéricas para sus propios desarrollos específicos.

Otras compañías civiles utilizan tecnologías comerciales para abrirse camino dentro del sector militar, sin tener que modificar sus procesos productivos o sus productos, pero sí su estrategia de comercialización.

### 2.5.2. Transferencia interna adaptativa

Incluye todos los procesos de modificación que se necesitan para que aquellas tecnologías que se transfieren dentro de una misma compañía puedan usarse en sus nuevas aplicaciones. Se refiere tanto al producto que se quiere introducir en nuevos mercados como al talento humano y capital necesario para realizarlo.

- **Producción dual e integración:** ocurre cuando una compañía que pertenece al sector de la defensa decide explotar comercialmente el mismo producto que tiene distinta aplicación, de esta manera que se comparten infraestructuras (no siempre, depende del producto) y prácticas comerciales. Esta opción es particularmente ventajosa para las empresas de la defensa, debido a las barreras de entrada al sector y las particularidades de sus procesos de adquisición.
- **Conversión:** se trata del cambio de actividad de una empresa desde el terreno militar hacia el civil, lo cual requiere de una profunda reestructuración organizacional, adaptando las habilidades y maquinaria a los nuevos requerimientos.
- **Diversificación:** busca aumentar el alcance de la actividad de una empresa expandiéndose hacia mercados civiles.
- **Reposicionamiento vertical:** busca cambiar el posicionamiento de una empresa dentro de la cadena de valor, incorporando actividades “aguas arriba” o “aguas abajo”.

### 2.5.3. Transferencia externa directa

Mediante estos mecanismos, los productos se trasladan a compañías externas, quienes serán responsables de adaptarlos a su modelo de negocio. Por ejemplo, es usual que algunas compañías o laboratorios que suministran a la defensa transfieran los productos con uso doble conocido a otras más capacitadas o con más experiencia en la comercialización, evitando los riesgos que suponen adentrarse en terrenos desconocidos. La explotación comercial del nuevo uso se transfiere por tanto a la nueva compañía, por lo que la firma inicial no tiene que realizar cambios en su organización para abrirse al nuevo mercado.

- **Brokers de tecnología:** se trata de compañías externas especializadas en la búsqueda de terceras con potencial doble uso, que típicamente surgen de trabajos militares, y que pueden comercializar el producto.
- **Mejora de las comunicaciones:** estableciendo canales de comunicación entre empresas militares y civiles, se ayuda a incentivar la transferencia tecnológica y por tanto el

desarrollo de nuevos mercados para las tecnologías que surgen de la I+D de defensa. Estos canales se establecen a través de agencias gubernamentales o asociaciones industriales.

- Comercialización dirigida desde dentro: ocurre cuando las compañías o laboratorios buscan sus propias maneras de comercializar sus productos, buscando compañías externas de manera similar a cómo funcionan los brokers tecnológicos.
- Publicaciones: son medios gracias a los cuales se transfieren los resultados de las investigaciones.
- Instalaciones de usuarios: por ejemplo, algunas empresas de defensa que han visto disminuida su actividad tienen infraestructuras y equipos que quieren retener para futuras actividades, pero que aprovechan ese capital para aplicaciones civiles o incluso prestándolo a la industria civil.

#### 2.5.4. Transferencia externa adaptativa

Este tipo de transferencia ocurre cuando la tecnología se mueve por compañías y a distintas aplicaciones, y además es necesario un proceso de adaptación. Es probable que debido a estos mecanismos se creen nuevas formas organizacionales para coordinar la cooperación necesaria. Normalmente requiere que el personal que pertenece a la compañía o laboratorio inicial colabore con el nuevo dueño de la tecnología, produciéndose además una transferencia de habilidades e incluso de instalaciones para la adaptación.

- Spin-offs o empresas que se crean a partir de otras ya existentes para explotar comercialmente un producto que ha encontrado una nueva aplicación.
- Alianzas cooperativas: este tipo de mecanismos buscan un compromiso duradero entre los implicados:
  - Programas de I+D cooperativos: busca establecer alianzas entre la industria, el gobierno y centros de investigación públicos y privados, proporcionando incentivos financieros para realizar investigaciones conjuntas. La defensa, a través del gobierno, presta instalaciones para la investigación de doble-uso.
  - Centros conjuntos: se trata de la creación de centros de investigación, uniendo centros de investigación específicos militares y civiles, para desarrollar productos que satisfagan a ambos mercados.
  - Financiación directa de I+D relacionada con el doble uso: se trata de financiación estatal para financiar investigación sobre doble uso, creando alianzas tecnológicas entre compañías comerciales y especialistas en defensa.



## **Capítulo 3 LA BÚSQUEDA DE LA VENTAJA COMPETITIVA: TECNOLOGÍAS MILITARES EMERGENTES Y DISRUPTIVAS**

La defensa tiene un apetito particular por la innovación, lo que explica las grandes inversiones que este sector ha realizado. Su objetivo no es (o no siempre) el ahorro en costes como ocurre en la industria civil, sino que persiguen la funcionalidad de sus productos y el aumento de la capacidad militar. La razón de estas inversiones es la de encontrar una mejora o una nueva tecnología que proporcione una ventaja definitiva tanto para el combate como para la defensa de la nación.

### **3.1 Carácter innovador del sector militar**

Se conoce como tecnologías emergentes como aquéllas que están en fases tempranas de desarrollo. En estas etapas, aún se consideran las diversas aplicaciones que la tecnología podría tener en un futuro, por tanto, están rodeadas por una elevada incertidumbre, tanto en la funcionalidad final como en el transcurso de las operaciones de investigación y desarrollo o su rentabilidad en el mercado. En capítulos anteriores ya se ha hablado que, durante el siglo XX, hasta el final de la Guerra Fría, los conflictos armados estuvieron profundamente marcados por el desarrollo tecnológico, que contribuyeron a su resolución. Es decir, existe una relación entre capacidad militar y desarrollo tecnológico, la cual no siempre es proporcional, puesto que la capacidad militar depende de su doctrina, formación, entrenamiento y estrategia organizacional y operacional de las fuerzas armadas, entre otros factores. Así, si bien el desarrollo tecnológico militar puede cambiar el transcurso de una guerra cuando sea necesaria la introducción de una nueva tecnología, la doctrina deberá adaptarse para integrar el uso de la tecnología (Leske, 2018; Martí Sempere, 2013), ya que cambiarán la forma en la que se perciben internamente las guerras (Lin, 2010). Incluso, podría crear nuevas formas de guerra, como la guerra cibernética (James, 2016).

La industria de la defensa se caracteriza por una búsqueda continua de innovación (Martí Sempere, 2018), sin embargo se ven afectadas por la inherente incertidumbre de los procesos de desarrollo. De esta manera, muchas de las innovaciones serían en esencia mejoras incrementales de tecnologías ya conocidas, proporcionadas por compañías de la industria de defensa con relaciones estables con el cliente (Estado, Fuerzas Armadas) y que conocen sus necesidades, a la vez que éstas disponen de la capacidad científica y técnica.

### **3.2 Tecnologías emergentes**

En un contexto genérico, las tecnologías emergentes son aquellas que aún no tienen una aplicación definida, pero en el contexto militar, la palabra “emergente” se suele utilizar para referirse a

aquellas que, aun estando en fases tempranas de desarrollo, han llegado a un punto en el que se conoce que se van a utilizar en sistemas de armas (Berkowitz, 2008), teniendo en cuenta de que aún no está plenamente desarrolladas y que, por tanto, debe pasar un tiempo hasta que la tecnología se aplique. Sin embargo, en términos de operaciones militares, estos tiempos deben ser cortos para que la tecnología pueda marcar una diferencia, lo que requiere de una reforma de los procesos de innovación de la defensa y una agilización de los procesos de adquisición (James, 2016).

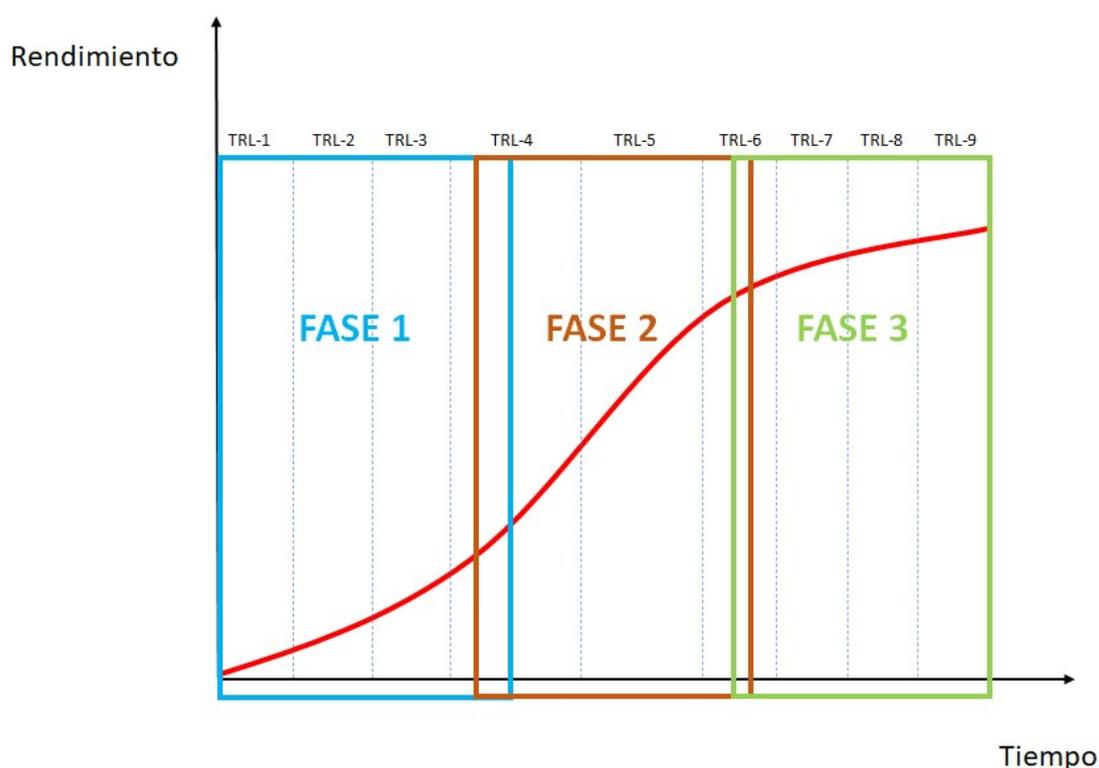
La innovación militar comprende diversas dimensiones: las relaciones entre militares y civiles, políticas de inter e intraservicios y la cultura de la organización. Las organizaciones militares son en general inflexibles, con tendencia a estancarse, adversas al cambio, y con intensos procesos burocráticos (Grissom, 2006). En función de estos factores, se establecen dos direcciones en el desarrollo de la innovación militar:

- Top-down: en este caso, serían los líderes con más experiencia quienes reconocen la necesidad de cambio, deciden qué innovaciones se desarrollan y cómo, inducir a la organización a un cambio cultural para realizarlas e incluso pueden formular nuevas formas de guerra.
- Bottom-up: la innovación comienza desde los niveles más bajos de la jerarquía militar, expertos en sus campos, hacia escalones superiores, tanto sobre cambios tecnológicos como de doctrina.

### 3.2.1. Nivel de madurez de la tecnología

Parece ser que el término emergente se ha utilizado con cierta ligereza para referirse a tecnologías militares en concreto que, sin estar plenamente desarrolladas, ya se sabe que van a constituir todo o parte de un sistema que desarrollará armas en un futuro que aún es incierto. Desde el punto de vista del desarrollo tecnológico, las tecnologías emergentes ocupan un lugar en el ciclo de vida de la tecnología, con equivalencia en la escala de niveles de madurez de la tecnología o TRL, según sus siglas en inglés. El concepto de nivel de madurez tecnológica surge en la NASA, aunque también se emplea en convocatorias de ayudas, por ejemplo, en el Programa Marco de Investigación (Horizonte 2020) y, por supuesto, en defensa. Se emplea para determinar en qué nivel se encuentra una tecnología y, en casos de innovación o de mejora, para determinar el grado de innovación (por ejemplo, el esfuerzo no es el mismo si se comienza a desarrollar desde etapas tempranas que una vez que la tecnología es madura e incluso se está comercializando). La curva-S que simplifica el ciclo de vida de una tecnología, con su rendimiento y el tiempo de desarrollo en los ejes, se ha dividido en 3 zonas que corresponden con las siguientes fases:

- Fase 1: tecnología emergente, en fase de prueba de concepto o investigación industrial.
- Fase 2: tecnología tradicional, ya se ha obtenido un prototipo o demostrador para determinar su potencial. Fase de desarrollo tecnológico.
- Fase 3: Producto comerciable. Posible certificación.



**Figura 10.** Gráfico que relaciona el nivel de desarrollo tecnológico (TRL) con las fases de desarrollo, con el rendimiento de la tecnología en el eje Y y el tiempo en el eje X

Tanto el tiempo como las métricas seleccionadas para medir el rendimiento dependen de la naturaleza de la tecnología y su funcionalidad. Las métricas para la tecnología de defensa también difieren según el tipo de proyecto que se está llevando a cabo: existen distintos tipos de tecnología militar, ofensiva, defensiva, transporte, comunicaciones y sensores. Su rendimiento depende si sus productos, de nuevo, generalmente sus armas, son posibles desde el punto de vista técnico y ético (James, 2016).

Como ya se ha comentado, puesto que las tecnologías emergentes están en fases tempranas de desarrollo, están rodeadas por una gran cantidad de incertidumbre. La gestión de esta incertidumbre influirá por tanto en gran medida para que las tecnologías en desarrollo alcancen un nivel de madurez suficiente que mejoren la capacidad militar, objetivo para el cual se concibieron. No sólo hay riesgos en su ciclo de vida, en la dirección que seguirán las actividades de desarrollo o en la funcionalidad, sino también en los riesgos que la tecnología supondrá para la seguridad nacional.

Algunos desarrollos fracasan nada más empezar, por problemas técnicos, porque requieren de cantidades inasumibles de recursos (incluso para la defensa), porque el tiempo previsto hasta que tenga aplicaciones reales es demasiado extenso, etc. Otros se descartan en procesos más avanzados porque se han encontrado otros caminos de innovación que son más baratos o más rápidos. El hecho de que existan distintos caminos para el desarrollo implica tomar decisiones que están marcadas en

la cantidad de recursos de los que se dispone; por ejemplo, un estado más pudiente podrá explorarlos todos, otros sólo el que creen que satisfará mejor sus necesidades y otros abandonar el proceso de innovación e invertir en adquirir tecnologías ya desarrolladas. En cualquier caso, la defensa también aprende de sus fallos, surgiendo incluso proyectos nuevos de anteriores fallidos. Otras continúan su proceso de desarrollo, considerando principalmente su funcionalidad y los beneficios que aportarán antes que los costes relacionados con la incertidumbre, los cambios en los modos establecidos de operación y de sustitución de las armas antiguas por las nuevas.

### 3.3 Tecnologías disruptivas en la defensa

La defensa requiere de inversiones para desarrollar tecnología por diversas razones, entre ellas, la de encontrar una ventaja frente a potenciales rivales. Una ventaja definitiva, el surgimiento de un producto y una tecnología procedentes de la investigación, a día de hoy, militar o civil.

Durante las fases tempranas de la investigación no se conocen las funcionalidades del producto final, ya que la investigación puede tomar distintos caminos en función de los avances, de las necesidades que hay que satisfacer, del presupuesto, etc. Pero alguno de esos caminos puede conducir a la esperada tecnología disruptiva, es decir, aquella con capacidad de dejar obsoletas aquellas que se utilizaban hasta el momento. Ejemplos cotidianos de tecnologías disruptivas son la cámara digital o el teléfono móvil: sus antecedentes estaban avanzados en sus desarrollos, y las novedades resultaron ser productos de menor calidad, sin embargo, presentan ventajas que consiguen desplazar a sus antecesoras (Stowsky, 2004).

En principio, las tecnologías que llegaron a ser disruptivas estaban pensadas para un nicho de mercado que acepta la disminución de calidad en algunos atributos, a cambio de proveer de nuevas utilidades (Pfaff, 2020). El éxito de estos nuevos productos debe medirse a partir de otras métricas, acordes con la novedad, ya que con las métricas antiguas el nuevo producto rendirá peor. Es de entender, por tanto, que para las compañías establecidas, es más fácil o se incurre en menos riesgos si se apuesta por la innovación incremental, por la mejora de tecnologías ya existentes, y no por una nueva, con remota posibilidad de ser disruptiva (Dombrowski & Gholz, 2009). El sector militar no es distinto, y una tecnología disruptiva tendría potencial de cambiar las reglas del juego. Un ejemplo de tecnología militar disruptiva, sin duda, es Internet.

Las tecnologías disruptivas emergentes actualmente, son las siguientes:

- Inteligencia artificial.
- Internet de las cosas.
- Biotecnología para el mejoramiento humano.
- Sistemas robóticos y autónomos.
- Blockchain.
- Nuevas tecnologías espaciales.
- Nuevos materiales avanzados.
- Computación cuántica.

Es evidente que la defensa se orienta actualmente hacia la digitalización, produciendo sistemas inteligentes, incluidas armas inteligentes, para dotar a las fuerzas armadas de los medios que garanticen su superioridad. La industria, por tanto, tendrá que evolucionar hacia la industria 4.0 y ser competitiva a nivel internacional.

### **3.3.1. Ejemplos de proyectos fallidos**

#### **3.3.1.1 Razones del fracaso**

En numerosas ocasiones, se decide correr el riesgo de investigar una tecnología para la fabricación de un nuevo producto, invirtiendo para ello grandes cantidades de recursos. Muchos de ellos, a pesar de la preparación previa, se terminan abandonado. Existen diversas razones para el fracaso de los programas de defensa, no muy distintas a los motivos de otros proyectos, como desviaciones de plazos o presupuestos o la ocurrencia de eventos imprevistos.

Es papel del director de proyectos el manejar los motivos de fracaso, con creatividad a la hora de encontrar soluciones flexibles a los problemas que puedan ocurrir. El éxito de las respuestas depende de la pericia y experiencia del equipo de proyecto y su director, su imaginación, energía y dedicación.

A continuación, se exponen algunos motivos que conducen al fracaso algunos proyectos de defensa (Bennett, 2010):

##### ***3.3.1.1.1 La novedad***

Todos los proyectos son únicos, por tanto, se adentran en terrenos desconocidos, distintos a los observados por otros proyectos. En los proyectos se busca el desarrollo de un producto o un servicio nuevo, nuevos diseños o procesos, o bien se ejecutan junto a nuevos colaboradores, o buscan la creación de nuevas corporaciones, etc. Los riesgos son mayores si la novedad implica la implementación de tecnología punta. No obstante, si la defensa no se arriesga, incurre en un riesgo aún mayor, el de quedar en desventaja frente a otros sistemas.

##### ***3.3.1.1.2 La incertidumbre***

La incertidumbre va de la mano del concepto anterior. Los proyectos se adentran en lo desconocido, y puesto que no se puede predecir el futuro, siempre quedará la incertidumbre de si el proyecto será exitoso. Debido a la novedad, no se dispone de datos certeros que permitan pronosticar retrasos o sobrecostes en el proyecto, aunque las lecciones aprendidas de proyectos anteriores permiten

realizar las estimaciones de las líneas base, en la etapa de planificación. La incertidumbre también afecta a los requerimientos de rendimiento, puesto que los niveles de amenaza y la evolución de la tecnología militar pueden cambiar los supuestos bajo los cuales se comenzó el proyecto. Las razones de emprender los proyectos militares dependen en gran medida del contexto político y de la percepción de la seguridad.

#### ***3.3.1.1.3 Complejidad***

Ya se ha hablado que la complejidad de los sistemas militares condiciona los procesos de contratación de los programas y proyectos destinados a desarrollarlos. Los productos de defensa son complejos por varias razones:

- Porque están formados por un alto número de sistemas y subsistemas.
- Debido a su arquitectura, con un gran número de interfaces.
- Porque requieren de elevadas tecnologías para lograr las prestaciones deseadas.

Toda esta complejidad requiere de proveedores de sistemas y de componentes para fabricarlos, y de una gran cantidad de iteraciones hasta que se alcanza un producto que cumple con los requerimientos. Por ello, la complejidad se traslada a las contrataciones y a la programación de los proyectos.

#### ***3.3.1.1.4 Interdependencia de proyectos***

Existen multitud de dependencias dentro de un proyecto, de diversa naturaleza, que afectan al desempeño del proyecto, plazos y presupuestos. Por ejemplo, requerimientos de interoperabilidad entre servicios, requerimientos entre los socios del proyecto o de cumplimiento de normativa.

#### ***3.3.1.1.5 Limitación de recursos***

La defensa se caracteriza por invertir grandes cantidades de recursos para sus proyectos, puesto que suelen anteponer la funcionalidad de los resultados al coste del proyecto. No obstante, sí es cierto que cada vez existe más presión, incluso en la defensa, para ajustar los presupuestos de los proyectos, provocando muchas veces subestimación de los recursos necesarios, ante la presión de construir una propuesta más competitiva que la del rival.

### 3.3.1.1.6 Restricciones políticas en coste y plazo

La defensa, en España (y en otros países), recibe grandes cantidades de dinero público, determinado en los Presupuestos Generales del Estado. Es por ello que las compañías tienen la responsabilidad de generar valor, algo que comúnmente lleva a sobreestimar los beneficios del proyecto, e infravalorar costes y riesgos. Incluso, cuando el proyecto ya empieza a encaminarse hacia el fracaso, es frecuente que se continúe exprimiendo el proyecto, con el fin de obtener beneficios, pero que irremediamente conduce a sobrecostes importantes. Normalmente los estados vigilan estrechamente las restricciones de coste y plazo para el control de los proyectos de defensa.

Sin embargo, el cumplimiento de plazos y costes no suele ser el objetivo de los proyectos militares sino, por el contrario, el incremento de la capacidad militar. Por tanto, el éxito de un proyecto de defensa se mide a través de métricas de plazos y costes comunes en proyectos de otra índole, pero que no suelen ser adecuadas para este proyecto, puesto que los requerimientos del producto y su funcionalidad y rendimiento son el principal objetivo. Esto no quiere decir que las restricciones de coste y plazo no sean importantes en los grandes proyectos militares, sino que debe hacerse una gestión de riesgos que contemple contingencias respecto a coste y plazo, pues la incertidumbre es inherente a los proyectos.

### 3.3.1.2 Ejemplos de proyectos fallidos

En este apartado se comentarán algunos proyectos de defensa fallidos, muchos de ellos por razones expuestas en el apartado anterior. En resumen: en ocasiones se subestiman los riesgos y los costes de los proyectos con el fin de ser más competitivos; además, el entorno, el escenario sociopolítico y la percepción de las amenazas influyen en gran medida en los objetivos de los proyectos. Existe un número considerable de proyectos que han fallado, de diversa naturaleza, incluida la fabricación de armas, elementos de transporte, sistemas electrónicos o de comunicaciones. A continuación, en la Tabla 2, se exponen unos cuantos ejemplos y las razones de su cancelación:

**Tabla 2.** Algunos ejemplos de proyectos fallidos. Algunos fueron llamativos, como el avión F-35, pero de muchos no se tendría conocimiento si no fuese por la transparencia de algunas oficinas de Defensa

PROYECTO	OBJETIVOS	RAZONES DEL ABANDONO
<b>Lockheed Martin F-35 Lightning II</b>	Desarrollo de un avión fighter para las Fuerzas Armadas de EEUU, y para ventas a la OTAN para superar ciertas restricciones de mercado.	Diversos problemas técnicos no previstos, que resultaron en retrasos y sobrecostes, pues otros proyectos similares lo superaban en rendimiento.
<b>Strategic Defense Initiative (SDI)</b>	Desarrollo de un sistema más avanzado que las armas nucleares, que permitiese la defensa frente a misiles nucleares.	La tecnología a desarrollar aún requería de años para tener la madurez suficiente para ser utilizada: láser, armas de rayos de partículas,

		sistemas de misiles, sensores, sistemas computacionales avanzados, etc. Existían tensiones entre Estados Unidos y la Unión Soviética, que finalmente afectaron al proyecto. Finalizada la Guerra Fría, el proyecto dejó de tener sentido.
<b>Joint Tactical Radio System</b>	Desarrollo de un nuevo sistema de comunicaciones para reemplazar los radios existentes.	Una mala gestión llevó a cancelaciones de partes del programa, sobrecostos y retrasos injustificables, pues era imposible alcanzar los requerimientos del nuevo sistema.
<b>Proyecto Camelot</b>	Desarrollo de un método de predicción e influencia en aspectos políticos del cambio social, en países extranjeros.	La divulgación del proyecto provocó un rechazo entre la comunidad científica de América Latina, ya que el proyecto tenía intenciones militares.
<b>Concorde</b>	Adquisición de un avanzado avión supersónico para el transporte de pasajeros.	El 25 de julio del año 2000, el vuelo 4590 de Air France se estrelló tras el despegue, provocando la muerte de las 113 personas a bordo. Desde entonces, el número de pasajeros descendió, por lo que Air France y British Airways decidieron la retirada de su flota. La falta de competencia provocó que no actualizar las aeronaves.
<b>National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System</b>	Fabricación de un satélite de última generación para monitoreo del clima, fenómenos atmosféricos, entornos marinos, terrestres y del espacio cercano.	El satélite contaba con sensores desarrollados en la NASA, aún prototipos. Por tanto, la falta de madurez de algunos de los sistemas que integraba, provocó la cancelación del proyecto. Posteriormente fue rescatado, pero para servir propósitos distintos.

## **Capítulo 4 CARACTERÍSTICAS DE LA GESTIÓN DE LOS PROYECTOS DE DEFENSA**

Ya se ha hablado de las particularidades de la industria de defensa. Es de suponer, por tanto, que sus métodos de gestión también presentarán características únicas en este sector. Por ello, un director de proyectos necesitará conocer el funcionamiento de la defensa y su industria para el óptimo desempeño de su trabajo.

### **4.1 Conocimientos específicos**

El acceso al mercado de la defensa se consigue mediante licitación pública, con procesos abiertos a la competencia, aunque en ciertos casos la clasificación de seguridad lo impide (Gallart, 2008; Martí Sempere, 2013). El mercado en este sector no funciona como un libre mercado, pues no existe pluralidad de compradores y proveedores, sino que generalmente la defensa únicamente tiene un cliente, mientras que el mercado está formado por un número muy limitado de compañías. Esto es provocado por la complejidad y poca sustituibilidad de los productos de defensa. De este modo, las consecuencias que se desprenden del éxito o del fracaso son más graves para las empresas. Esto se transfiere a los contratos en relación a los riesgos, el precio o la planificación. Normalmente los contratos son de larga duración, por lo que hay que tener en cuenta que las políticas de empresa pueden cambiar, así como la cultura e incluso su estrategia. Estos contratos se realizan para desarrollar sistemas para fabricar equipamiento y armas o para mejorar el rendimiento de otras ya existentes, y son una de las actividades de más riesgo que emprenden las empresas de defensa (Roulston, 2007).

#### **4.1.1. Los procesos de adquisición**

Los sistemas de defensa incurren en importantes gastos con el fin de mantener su capacidad de operación: inversiones en activos, reemplazo de elementos, reparaciones o modernización de los sistemas, además de talento humano con elevada cualificación técnica y gastos de formación para obtener conocimiento que permita dominar las tecnologías específicas de la defensa. Los contratos de defensa recogen cláusulas que incentiven la eficiencia del proceso de suministro.

La defensa está marcada por la importancia que le da a la I+D, la elevada incertidumbre, las economías de escala y el hecho de tener un único comprador. Existe un gran incentivo por conseguir mejores rendimientos o funcionalidades a través de la innovación, ya que un buen diseño, que sea exitoso, puede asegurar un contrato de producción y la apertura del mercado de explotación (Rogerson, 1995).

Existen dos tipos de riesgos en cuanto a los procesos de adquisiciones de la defensa (Markowski, Hall, Wylie, 2009):

- Riesgos internos: referidos a problemas en los procesos de producción, diseño, etc.
- Riesgos externos: en cuanto a los cambios en la demanda, debidos en parte a la percepción de las amenazas, existencia de alternativas, en la voluntad de compra, etc.

Roulston (2007) además distingue otro tipo de riesgos: los riesgos militares o aquellos que se incurren cuando el desarrollo es satisfactorio, pero no contribuye a aumentar la capacidad militar. Esto ha hecho que se firmen contratos de costes compartidos, anualmente, en vez los largos contratos habituales a precio fijo, ya que los primeros permiten adelantarse a la incertidumbre, y renegociar los sobrecostes debidos a ella. No obstante, aunque estos contratos proporcionen flexibilidad, también pueden hacer que los proyectos se extiendan indefinidamente en el tiempo.

Por otra parte, la producción de la mayoría de los sistemas ocurre en un único entorno. Esto da poder a las empresas que forman el sector, pues al haber un número bajo de empresas, normalmente es muy difícil que las Administraciones puedan cambiar de proveedor si no es a un coste prohibitivo, dándoles margen para fijar precios por encima de los costes marginales.

Además, las incertidumbres en cuanto a la producción no ayudan a la firma de contratos por toda la producción, por tanto, los precios no se fijan por la competencia como en otros mercados, sino que se negocian entre el comprador y el proveedor (Rogerson, 1994), en base al rendimiento, complejidad y funcionalidad de la tecnología que se quiere desarrollar (Leske, 2018; Roulston, 2007) y los equipos y tecnologías que se han de incorporar. Normalmente estas negociaciones están poco equilibradas, pues el cliente (la Administración) está en una posición inferior al desconocer el coste real del producto, mientras que el proveedor dispone de amplios conocimientos sobre sus sistemas (Sandler & Hartley, 2007).

En resumen, existen dos dificultades principales en los procesos de contratación en defensa:

- Puesto que normalmente los proyectos que se acometen son de carácter innovador, muchas veces no está completamente definido el trabajo a realizar, por lo que no se prevén todas las contingencias. En consecuencia, el trabajo fijado en el acuerdo resulta ser poco adecuado para continuar con la ejecución del proyecto. En ese caso, es necesaria la negociación entre las partes para extender el proyecto y adaptarse a la situación.
- Los órganos de contratación vigilan el cumplimiento de los contratos, para asegurar que la empresa contratada no escatima en recursos o calidad del producto. Esto es complicado en el caso del punto anterior, en el que el trabajo aún no está bien definido por el carácter innovador del proyecto (Martí Sempere, 2013).

#### 4.1.2. “Hold-up” tecnológico

A pesar del carácter innovador de la defensa, existe cierto recelo a la hora de realizar inversiones en tecnología, puesto que ese esfuerzo debe ir destinado a procesos de desarrollo muy específicos (*i.e.* la producción armamentística), por lo que ese conocimiento, habilidades y tecnologías quedan “retenidas” dentro de la industria, sin producir rentabilidad por otros medios (se crean para satisfacer a un único cliente). Por otra parte, muchas veces es necesario que las empresas adquieran tecnologías específicas o equipos para desarrollar sus sistemas; tecnologías que difícilmente pueden aprovecharse para otras operaciones, creando ineficiencias. Este efecto es conocido como “hold-up”. Para intentar salvar estos obstáculos, las Administraciones acuerdan contratos a medio y largo plazo, para optimizar los procesos de fabricación que aseguren una línea de negocio estable, y así se obtenga rentabilidad para recuperar la inversión. A cambio, la administración se beneficia de costes menores o de mayor calidad en el servicio. Asimismo, los estados apoyan con contratos de desarrollo o producción, prolongando los contratos de suministro cuando no se amortizan las inversiones, ofreciendo indemnizaciones por cancelación de contratos o ayudas para la reconversión industrial.

Algunos gobiernos, como el de los Estados Unidos, financian la I+D relacionada a la defensa a través de sus Departamentos de Defensa, que disponen de una elevada capacidad tecnológica que permite reducir la incertidumbre de los desarrollos. Además, también aportan en numerosas ocasiones sus propios laboratorios, y disponen de relaciones con otras empresas y entidades como universidades o centros de investigación para llevar a cabo investigaciones básicas y aplicadas.

Siguiendo con el ejemplo de Estados Unidos, el Departamento de Defensa da fondos a otras empresas para que realicen sus propias I+D independientes. Además, también paga a otras empresas y entidades sin ánimo de lucro para la I+D del Departamento de Defensa, amparada por un enorme conjunto de regulaciones y políticas, que permiten que calcular un precio justo de las contrataciones, basado en costes, no enfocado a conseguir el precio más bajo (Rogerson, 1994). Por otra parte, las exportaciones de tecnología están muy controladas fuera de su propio mercado.

En Europa y en el Reino Unido, los principios el entendimiento está por encima de reglas y regulaciones (Roulston, 2007), en un contexto en el que el telón de fondo de las adquisiciones para la contratación de defensa es cambiante. Para este autor, si el plan de proyecto es robusto y el proyecto es viable, en tanto a que se cuentan con los recursos tecnológicos y habilidades necesarios, entonces necesariamente se encontrarán las buenas prácticas de gestión de proyectos.

#### 4.1.3. Niveles de contratación

En defensa, un proyecto se divide en partes que se relacionan jerárquicamente. Un contrato está constituido por una jerarquía de contratos con un mismo objetivo, que se distinguen entre sí por los riesgos y las responsabilidades que recogen en cada nivel. La gestión debe procurar el éxito en todos los niveles para que se considere el éxito global. En cada uno de los niveles, una parte sólo puede ser responsable por aquellos problemas que caen en su control, y no de los que están fuera

de las obligaciones del contrato (aunque niveles superiores deben ayudar a los niveles inferiores cuando sea necesario).

- El contrato principal: es necesario, puesto que la defensa maneja normalmente dinero público, una buena gestión para utilizar esos fondos con responsabilidad. Una buena técnica es no sobreestimar la complejidad del proyecto ni los recursos que va a necesitar, pues no beneficia a nadie que ocurran imprevistos por no haber realizado una correcta gestión de los riesgos. Incluso aunque se definan y analicen los riesgos y se hayan contabilizado los recursos previamente, otros nuevos pueden aparecer durante la ejecución del proyecto. Por tanto, es aconsejable prever un aumento del coste debido a imprevistos, que pueden llevar a realizar cambios en el alcance del proyecto. El contrato principal debe incluir estas contingencias y mecanismos para su utilización, con el pleno entendimiento de todas las partes interesadas. Como método de incentivo, la parte remanente reservada para contingencias puede devolverse o repartirse (J. Kupec, 2013; Rogerson, 1994; Roulston, 2007). Es necesario que las partidas y los mecanismos para ejecutar dichas partidas no provoquen conflictos entre los interesados; para ello, hay que especificar para qué van a ir destinados esos fondos, es decir, qué riesgos se quieren abordar con ellos. Además, el plan de contingencia debe fluir a niveles más bajos de la contratación si fuese necesario, para garantizar el éxito de los proyectos. Esto requiere de responsabilidad sobre las consecuencias del proyecto, ser honestos con la estimación de recursos y capacidad tecnológica, de juicio e integridad de todas las partes, además de conocimientos técnicos y habilidades para superar los obstáculos prácticos.
- Contratos subordinados: a veces ocurre que un contratista transfiere riesgos de manera abusiva a otras partes cuando debería hacerse responsable de ellos, provocado por una falta de entendimiento de los riesgos. Los contratos deben especificar claramente los riesgos a los que se someten. Los contratos subordinados ocurren cuando el contratista principal no puede asumir riesgos asociados a algún objetivo, por tanto, este objetivo (y sus riesgos) se recogen en un contrato subordinado al principal, y cuyos entregables deben cumplirse para no quede invalidado. Estos niveles inferiores deben servir para que el proyecto se planifique con lógica, no para crear tensiones que amenacen el proyecto.
- Actas de asociación: son típicas de la industria de la construcción y aquellas en las que las prácticas de precio fijo y variación de costes son habituales. El principio fundamental es la aceptación por parte de todos los interesados de que todos salen beneficiados del éxito del proyecto, y que todos salen perjudicados si fracasa. Así, todos aúnan esfuerzos para alcanzar el éxito, creando una simbiosis que además abarata costes. El director de proyectos debe sacar el máximo provecho de esta asociación para crear una cultura de equipo, mejorar la reputación y aumentar las probabilidades de futuras colaboraciones. Se trata de formalizar el sentido común de todos los interesados en un documento sin carácter legal, que recoge la visión como equipo y sus valores.

### **4.1.3.1 Consorcios**

Normalmente los proyectos no son ejecutados por entidades individuales, sino que se agrupan en consorcios para cumplir los contratos. Los consorcios son uniones temporales de empresas que proporcionan flexibilidad a la hora de crear una estructura organizativa adecuada para diseñar y producir el sistema requerido, y resolver aspectos claves relacionados con la incertidumbre o la comunicación (Rogerson, 1994). En estos consorcios, el trabajo a realizar se divide entre los integrantes, con capacidad de auto-organización, y que deben asumir su parte de responsabilidad legal en el trabajo conjunto. Una de las entidades será la coordinadora, la líder del proyecto y quien firma el contrato, y que posteriormente distribuirá las obligaciones legales del contrato en sucesivos subcontratos. La gestión del proyecto, no obstante, debe ser consensuada, siendo actualmente más importante que la capacidad de fabricación masiva. Es el contratista principal quien elige a las empresas que van a formar parte del conjunto de trabajo, en función de sus capacidades técnicas, además de ser responsable de su coordinación y control. Debido al carácter de la defensa, sólo un número limitado de empresas dispone de los sistemas y de los conocimientos necesarios para fabricar sistemas que finalmente cubran los requisitos del cliente. Además, una vez establecidas relaciones de confianza con el cliente, es difícil que otras empresas entren en el sector (Acosta et al., 2018; Leske, 2018; Martí Sempere, 2018).

El trabajo en consorcios puede crear un punto de competitividad que, bien gestionado, puede contribuir al éxito del proyecto. Es un contexto en el que se aúnan distintas culturas, maneras de trabajar, habilidades técnicas, personales, etc. Deben aprovecharse las ventajas que supone la colaboración, y evitar las desventajas. El reunir en un mismo proyecto distintas habilidades puede tener como consecuencia la generación de economías asociadas con el desarrollo y producción de equipos de defensa a gran escala.

Una práctica recomendada es la de evitar responsabilidades individuales dentro de un consorcio, especialmente si el ciclo de vida del producto es largo, o si se espera que la colaboración sea extensa en el tiempo. Para evitar perder el tiempo en repartir culpas cuando las cosas van mal, lo que puede llevar a situaciones desastrosas, se propone construir un consorcio con responsabilidad compartida en función del trabajo compartido. De esta manera, ningún miembro podrá desentenderse de los problemas y deberá aportar su esfuerzo por solucionarlos.

En proyectos ejecutados por consorcios, se corre el riesgo de que haya roles por duplicado o que el trabajo se repita, perdiendo eficiencia. Es por ello que, aunque un consorcio no es una entidad legal por sí misma, sí que se apliquen mecanismos que hagan que el conjunto funcione como una unidad. Por ejemplo, en grandes proyectos de defensa, se forma una junta que da autoridad e identidad, y que debería formarse por los responsables de repartir recursos de cada entidad que conforma el consorcio. El director de la junta puede ser un profesional externo o puede rotarse la dirección entre los miembros del consorcio.

Existen tres normas que rigen la organización de un consorcio:

- Debe haber confianza y existir predisposición para cerrar tratos comerciales y para enfrentarse los mecanismos de regulación comercial. Es por ello que suele ser necesaria la

existencia de un grupo comercial, liderado por el contratista principal y que informe directamente a la junta del consorcio.

- Debe existir un grupo de gestión de operaciones que reparta los recursos de las compañías contribuyentes. Para ello, de nuevo, el contratista principal debe ejercer de líder, pero cada miembro debe ser consciente de los recursos que aporta y los que comparte con otros. Para ello, se constituyen grupos de especialistas que informan al grupo de gestión de operaciones.
- La estructura debe asegurar la horizontalidad entre las comunicaciones, evitando ineficiencias. Se deben nombrar contactos que estén al mismo nivel en las distintas empresas para las distintas áreas de interés.

En general, constituye una buena práctica sobre todo en consorcios internacionales, que cada trabajador disponga de un perfil profesional en torno al proyecto, y que este perfil esté disponible para todos los integrantes.

En general, no existe diferencia entre la ejecución de un proyecto en el sector de la defensa y la de otros sectores, ya que las peculiaridades de la defensa normalmente se trasladan a la estrategia y políticas de la gestión de proyectos más que a su ejecución. Cuanto más complejo es un proyecto, en cuanto al tipo de sistema, el número de subsistemas y componentes que los componen, su arquitectura (número de interfaces) y las tecnologías avanzadas que son necesario incorporar, en más riesgos incurre, y más importante es una buena gestión.

## 4.2 Ciclo de vida del proyecto y métodos de control

El ciclo de vida de un proyecto de defensa se divide en distintas fases como cualquier otro proyecto. Cada fase debe tener su gestión específica para asegurar su calidad. Las fases, de manera general, se pueden resumir en las siguientes:

- Autorización de un estudio de concepto para aprovechar una oportunidad.
- Estudio de negocio para tomar la decisión de competir por el proyecto.
- Redacción de la oferta.
- Firma del contrato.
- Movilización del contrato: creación de planes de gestión y revisión de los recursos.
- Aceptación del diseño preliminar.
- Preparación de la producción.
- Preparación de la fase de apoyo.
- Cesión.

Los contratos se revisan en tres dimensiones:

- Entre las fases del proyecto, para comprobar su calidad, y que se han cumplido los objetivos e hitos de cada fase y para tomar la decisión de avanzar hacia la siguiente fase.

- Revisión de los diseños, para comprobar el rendimiento frente a los requisitos. Ejemplos de requisitos son la funcionabilidad, facilidad de la fabricación, coste, potencial de crecimiento, obsolescencia, robustez, etc.
- Revisión de los contratos, para controlar el progreso del proyecto. Compara el valor ganado frente al plan de financiación del proyecto con el fin de controlar costes necesarios para culminar el proyecto.

Las tres revisiones son totalmente independientes ya que reflejan características distintas del proyecto. Cada una de las revisiones deberán realizarse en sus momentos oportunos, que no tienen por qué coincidir. Por ejemplo, se revisarán las fases del proyecto cuando el proyecto requiera avanzar de manera natural, mientras que se establecerá una frecuencia para revisar el progreso. Las revisiones de rendimiento se realizan antes de revisar una fase, y consisten normalmente en una lista de acciones. Para su redacción es conveniente la participación de todos los stakeholders, para utilizar una aproximación interdisciplinar. El cliente normalmente participa en estas revisiones para tener en cuenta sus opiniones e incluirlas para mejorar los diseños en fases posteriores (si quedan dentro de lo contratado). Es el equipo encargado de diseño quien toma las decisiones sobre el trabajo que se expone al cliente, buscando un equilibrio de manera que sea suficiente para obtener la aceptación del cliente, pero no tan profundamente detallado que consuma demasiado tiempo y además sea poco práctico.

Por último, para realizar la revisión del progreso, normalmente se recurren a técnicas habituales de la gestión de proyectos. Por ejemplo, para determinar el trabajo necesario que hay que realizar para cumplir el contrato se recurre a la estructura de desglose del trabajo o EDT. La EDT descompone el trabajo en unidades más pequeñas y más sencillas de manejar, a la hora de desglosar las actividades, asignar recursos y estimar duración y coste. La EDT constituye una línea base sobre la cual se compara el progreso del proyecto. Una vez hecho esto, se determina el presupuesto del proyecto, constituyendo de nuevo una línea base. Trabajo, duración y costes se controlan utilizando el análisis del valor ganado, habitual en la gestión de proyectos, que permite evaluar el estado del proyecto y tomar decisiones al respecto.



## Capítulo 5 MEJORAMIENTO HUMANO E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

De entre todas las aplicaciones que existen para la tecnología militar, el mejoramiento humano es una de las que más cuestiones éticas provoca pues, aunque sin duda puede tener aplicaciones terapéuticas que ayudarían a personas discapacitadas, los soldados que recibieran esos procedimientos tendrían capacidades elevadas por encima de los seres humanos corrientes. No obstante, tanto el mejoramiento humano como la inteligencia artificial son dos de los campos del ámbito militar que más se están desarrollando actualmente, a pesar de las cuestiones éticas que plantea.

### 5.1 Introducción

En el Capítulo 1, sección 1.3, se expusieron las diferentes aplicaciones en la defensa de los grupos de tecnologías. Éstas se vuelven a mostrar en la Figura 11:

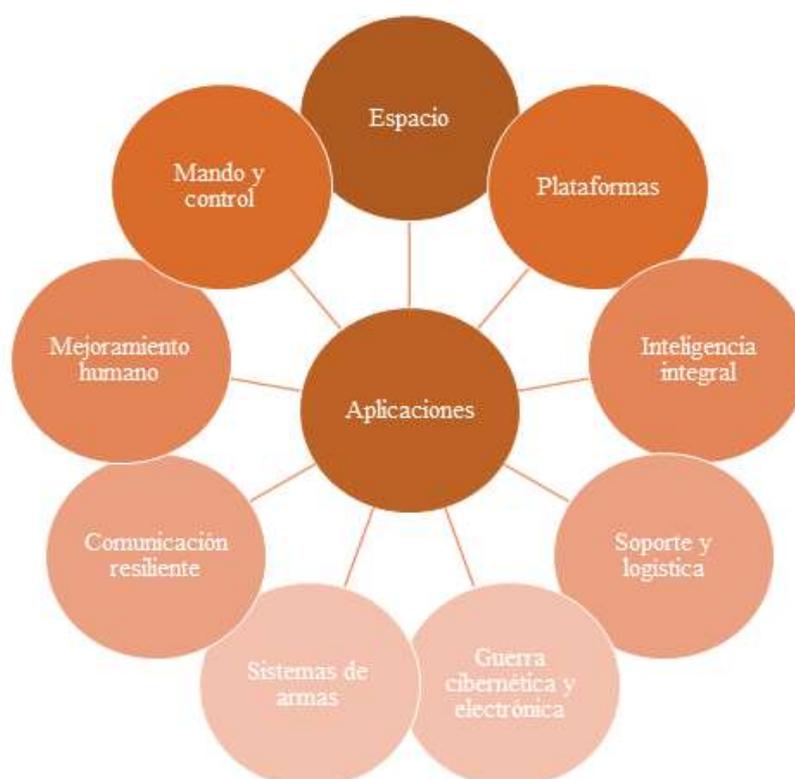


Figura 11: Actividades propias de la defensa

Dentro de las distintas aplicaciones, existen algunas que provocan una serie de cuestiones éticas y morales, por la falta de cumplimiento de la legislación vigente; por su carácter emergente, potencialmente disruptor, capaz de cambiar cómo se desarrollarán los conflictos, o por su impacto en la sociedad. Entre ellas, especialmente controvertidos son el mejoramiento humano y la inteligencia artificial y robótica, ya que se conciben como medios para la creación de sistemas mecánicos y para la mejora del rendimiento de sistemas orgánicos, dos caminos para alcanzar el mismo objetivo: la creación de un combatiente de capacidad superior (Lin, 2010).

## 5.2 Mejoramiento humano

El mejoramiento humano es la optimización de las capacidades del ser humano, por encima del nivel promedio de funcionamiento, en alguien con capacidades normales, es decir, que no estén disminuidas por cualquier circunstancia. De esta manera, se distingue el mejoramiento humano de la terapia.

Algunos ejemplos de mejoramiento humano son de naturaleza biomédica, como los esteroides que mejoran el rendimiento deportivo en algunos sujetos; o de carácter tecnológico, como las prótesis. No obstante, las tecnologías que permiten el mejoramiento humano no son de “quita y pon”, sino que producen cambios permanentes en los individuos. Las mejoras incluyen desde fármacos hasta implantes neurológicos que permitan, por ejemplo, el control de objetos en remoto. El mejoramiento humano se sirve de diversas áreas científicas como las neurociencias, la biotecnología, la nanotecnología, la robótica y de otras tecnologías emergentes (Mehlman et al., 2013). Se puede encontrar un esquema de las áreas científicas que aplican en el área del mejoramiento humano en la Figura 13.

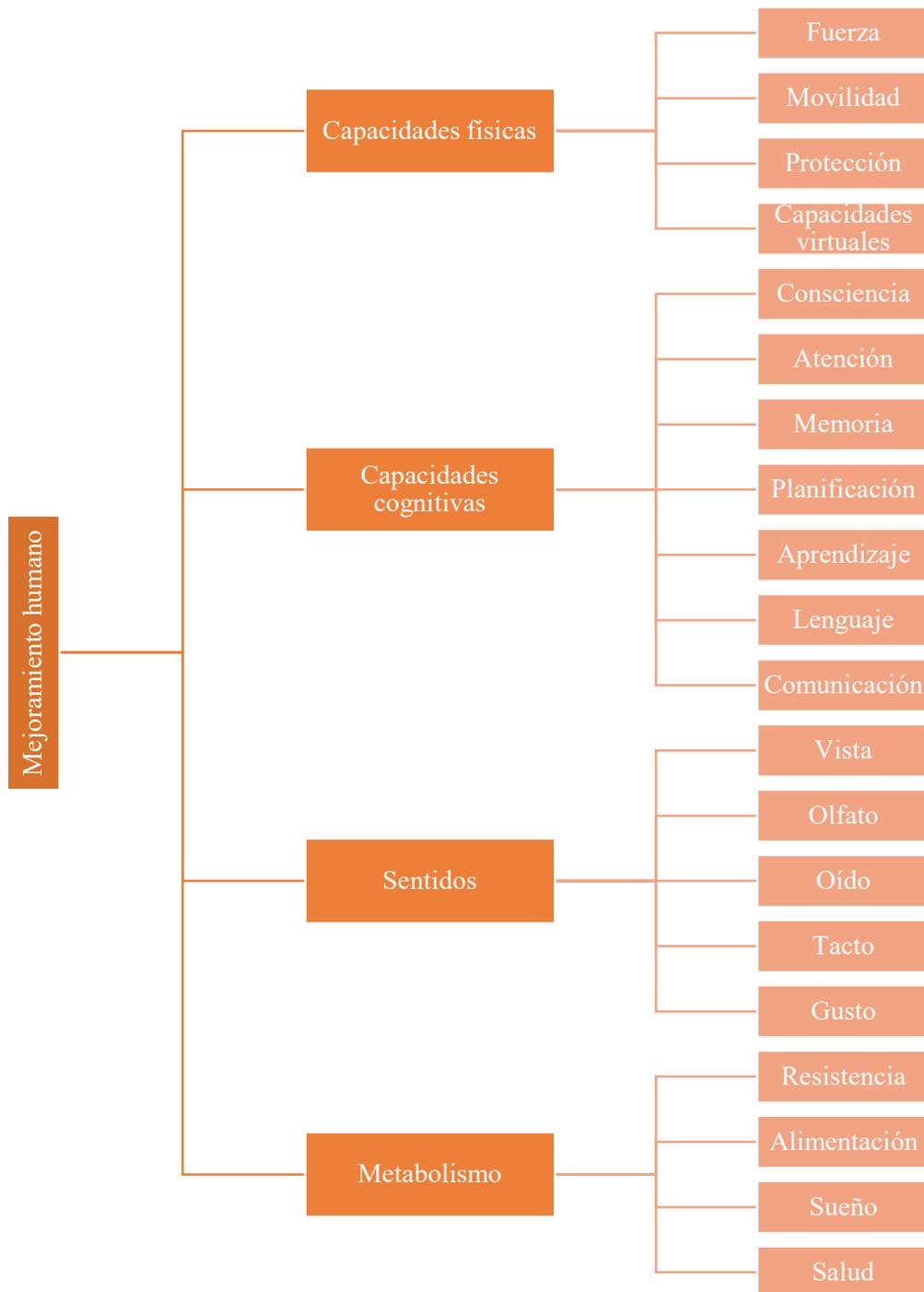
Un robot es un dispositivo que dispone de sensores para obtener información del entorno, que es capaz de procesar dicha información y de actuar en función del resultado de sus operaciones. Está dotado de cierta inteligencia para actuar de manera autónoma, y de sistemas de actuación para realizar movimientos.

La defensa crea sistemas robóticos para reemplazar a los humanos en entornos extremos o de alto riesgo, para operaciones de espionaje y de vigilancia (incluida vigilancia espacial y submarina), desactivación de bombas, ayuda a heridos, inspección de escondites, ataque de objetivos y control de fronteras. En el ámbito del mejoramiento humano, se desarrollan exoesqueletos, extremidades biónicas, prótesis y otros dispositivos para mejorar el rendimiento humano.



**Figura 12:** Ejemplo de exoesqueleto militar, del Ministerio de Defensa de Rusia

Si esto llegase a aplicarse, en un futuro se incorporarían en la sociedad veteranos con funcionalidades optimizadas, dejando al resto de los miembros de la sociedad en clara desventaja. Incluso dentro del mismo sector, pueden surgir problemas de justicia, a la hora de decidir quienes reciben la ventaja: una mayor letalidad. No obstante, una mayor ventaja en un soldado, también significa que ese soldado necesariamente se arriesgará más en un combate, ya que participará en un mayor número para aprovechar la ventaja que ha adquirido (Pfaff, 2020).

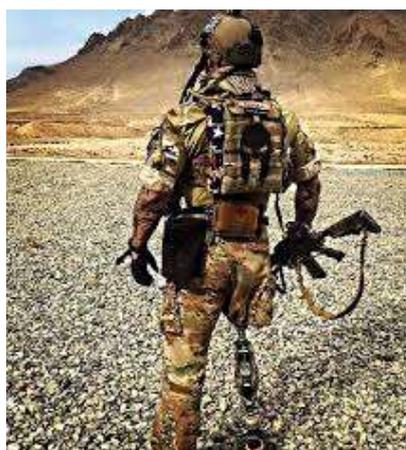


**Figura 13:** El gráfico muestra las categorías de proyectos que trabajan en el área militar del mejoramiento humano

### 5.2.1. Doble uso dentro del mejoramiento humano

Existe cierta relación entre terapia y mejoramiento, haciendo que a veces la línea que las separa sea borrosa. Aunque intuitivamente un individuo puede distinguir entre lo que es terapia y lo que es mejora de las capacidades humanas, no siempre es sencilla la definición, por tanto, la distinción. En los trabajos que hablan sobre mejora humana, describen las vacunas como ejemplo de lo anterior o algunas drogas que aumentan la atención o el rendimiento deportivo. Aparentemente, la distinción se encuentra en quienes reciben estos tratamientos: si alguien con algún tipo de distrofia muscular recibe medicamentos para poder funcionar de manera normal, se considera terapia; si por otro lado, se le suministra a un militar sano en el momento óptimo de sus capacidades para incrementarlas por encima de lo que se considera normal, sería mejoramiento. Por tanto, según se ha descrito en apartados anteriores, si algo desarrollado para el combate (mejoramiento) tiene aplicaciones fuera de ese ámbito con objetivos positivos, o al menos neutrales (terapia), entonces aquello tiene uso doble. El doble uso dentro del mejoramiento humano investiga acerca de terapias o curas, en los siguientes ámbitos:

- Estrés, aumentando la resistencia a ello o mediante el desarrollo de sistemas predictivos en función de una serie de biomarcadores.
- Problemas circulatorios o sanguíneos en general, incluyendo la producción de sangre sintética.
- Metabolismo, con avances que permitirían la hibernación.
- Aclimatación al ambiente, por ejemplo, a temperaturas extremas o a la falta de oxígeno, o situaciones de privación de alimento o sueño.
- Protección frente a toxinas y radiación.
- Prótesis e interfaces que permitan su sensorización y control.
- Avances en diagnósticos para la prevención de dolencias y enfermedades.
- Sistemas de fabricación de medicamentos.
- Otras investigaciones básicas, como terapias no convencionales y otras.



**Figura 14:** La defensa trabaja en el desarrollo de prótesis como forma de terapia para combatientes que han perdido extremidades en el desempeño de sus funciones, como parte de robots o exoesqueletos que confieren fuerza

### 5.2.2. Ejemplos de proyectos de mejoramiento humano

El departamento de Defensa de los Estados Unidos ejecuta a partir de la agencia DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) proyectos de tecnología biomédica, integrados en un único programa. Dicho programa está presupuestado en 2020 en 97,771 millones de dólares, para la investigación aplicada de tecnología, información, procesos, materiales, sistemas y dispositivos relacionados con la medicina. El objetivo de la investigación es el de asegurar la preparación de los soldados a partir de tecnologías médicas e interfaces neuronales. Para la mejora del rendimiento del combatiente, DARPA pretende desarrollar arquitecturas neuronales y algoritmos de procesamiento de datos para conectar el sistema nervioso con distintos objetos para permitir el control de prótesis robóticas. La siguiente tabla (Tabla 3) muestra algunos de los proyectos que se están ejecutando dentro del programa de tecnología médica. El objetivo de la investigación es el de asegurar la preparación de los soldados a partir de tecnologías médicas e interfaces neuronales. Para la mejora del rendimiento del combatiente, DARPA pretende desarrollar arquitecturas neuronales y algoritmos de procesamiento de datos para conectar el sistema nervioso con distintos objetos para permitir el control de prótesis robóticas.

DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), es un organismo público que nace del Departamento de Defensa de los Estados Unidos para el desarrollo de proyectos de investigación de uso militar. DARPA es un ejemplo de entidad que funciona exclusivamente por proyectos. Su misión es la de encontrar tecnologías de vanguardia para la seguridad nacional (de los Estados Unidos). Cuenta con 220 empleados que se distribuyen en 6 oficinas técnicas. De este número, hay que destacar que cuenta con 100 directores de proyecto para 250 programas que se están ejecutando actualmente. Para conseguir esto, DARPA no funciona aislada, sino que colabora con universidades, laboratorios gubernamentales y otras corporaciones gubernamentales para dar salida a sus proyectos. Esto ha provocado que DARPA pueda funcionar por proyectos, con una formidable flexibilidad teniendo en cuenta que opera en el sector de la defensa, conocido por rígidas normas y regulaciones. El objetivo de DARPA no es la innovación incremental, sino la búsqueda de innovación disruptiva que provoque un punto de inflexión en la manera de defenderse.

La siguiente tabla (Tabla 3) muestra algunos de los proyectos que se están ejecutando dentro del programa de tecnología médica:

**Tabla 3** Algunos de los programas actuales que se ejecutan desde el Departamento de Defensa de los Estados Unidos

PROYECTO	DESCRIPCIÓN
<b>Warfighter Analytics using Smartphones for Health (WASH)</b>	El objetivo es el monitoreo y valoración continuos de la salud fisiológica y estado cognitivo de los soldados a partir de datos generados por los teléfonos inteligentes actuales, a los cuales se los dotaría de sensores, para demostrar su preparación para el combate.
<b>Enhancing Neuroplasticity</b>	Desarrollo de una herramienta para el entrenamiento efectivo y rápido del personal, en tareas complejas y multidisciplinares. A través de este proyecto, se investigarán métodos de estimulación de los nervios

	periféricos y el desarrollo de dispositivos que promuevan la plasticidad sináptica.
<b>Genome Protection Technologies</b>	Investigación sobre la generación de una habilidad biodefensiva para controlar, atacar y revertir los efectos del mal uso, accidental o intencionado, de tecnologías de edición genéticas, un tipo de tecnología para la cual los Estados Unidos son pioneros, y para la que ya se están realizando avances legales y éticos.
<b>Defend Against Crop System Attack</b>	Desarrollo de una Plataforma tecnológica relacionada con el uso de amenazas biológicas que afecten los cultivos, rápidas y efectivas. Combinará avances en biología molecular y sintética para la entrega de terapias genéticas a plantas.
<b>Expanding Human Resiliency</b>	Pretende maximizar el rendimiento y resiliencia de los soldados utilizando las señales del microbioma humano para mejorar su fisiología. Desarrollarán nuevas tecnologías para controlar y manipular el microbioma para maximizar el rendimiento humano. Además, encontrar la relación entre el microbioma y los procesos fisiológicos.
<b>Restoration of Brain Function Following Trauma</b>	Trata sobre la comprensión y modelado de la actividad cerebral para desarrollar maneras de tratar lesiones cerebrales traumáticas. También sobre el Desarrollo de interfaces neuronales para monitorizar y modular la actividad neuronal responsable de distinguir los nuevos recuerdos y correlacionar la actividad encargada de generar recuerdos en una población significativa.
<b>Enhanced Monitoring of Health and Disease</b>	El programa mejora la salud de los militares y la preparación de sus capacidades a partir de la recolección de datos para pronosticar cambios en la salud y la transmisión comunitaria de enfermedades infecciosas a la población. Se basa en la predicción poder responder a amenazas antes de que ocurran.
<b>Prosthetic Hand Proprioception &amp; Touch Interfaces (HAPTIX)</b>	Los guerreros heridos a menudo sufren lesiones en la médula espinal o amputaciones. El personal militar con extremidades amputadas puede beneficiarse el control de la extremidad es de bajo rendimiento y poco fiable. El objetivo del programa es crear el primer implante de nervio periférico bidireccional (motor y sensorial) para controlar y detectar sistemas avanzados de prótesis de extremidades.
<b>Exoskeletons for Human Performance Augmentation</b>	Pretende incrementar las capacidades de los soldados por encima de las del ser humano medio, mediante armaduras para las extremidades superiores e inferiores que les confiera resistencia y fuerza.

<p><b>Neuro-Adaptive Technology</b></p>	<p>El programa está explorando y desarrollando tecnologías avanzadas para la detección y el seguimiento en tiempo real de la actividad neuronal. Una de las deficiencias de las tecnologías actuales de mapeo funcional del cerebro es la incapacidad de obtener datos de en tiempo real que vinculen la función neuronal con la actividad y el comportamiento humanos. Comprendiendo estas relaciones se podrían desarrollar terapias para el personal militar que esté padeciendo trastornos neurológicos, como el estrés post-traumático, lesiones cerebrales traumáticas, depresión o ansiedad.</p>
---	---

### 5.3 Inteligencia artificial

El sector militar también se beneficia de los avances en inteligencia artificial que se están produciendo, en actividades de inteligencia, vigilancia y reconocimiento, logística, operaciones cibernéticas, orden y control y vehículos autónomos y semiautónomos. Las tecnologías tienen el objetivo de reemplazar a los humanos en las operaciones más arriesgadas o incluso las más sencillas, para dejar todas sus capacidades para actividades más importantes, ya que los sistemas basados en inteligencia artificial (Coeckelbergh, 2011; Sayler, 2020):

- Reaccionan más rápidamente que los sistemas que requieren de un operador que lo accione.
- Pueden lidiar con una mayor cantidad de información para analizar.
- Permiten nuevos conceptos de operación, como los enjambres de drones.

Los sistemas de inteligencia artificial también generan cuestiones éticas. Por ejemplo, son frecuentes los casos que se reportan sobre IAs entrenadas con datos limitados, produciendo un aprendizaje sesgado, trasladándose a los resultados. Por ejemplo, el documental Coded Bias (Kantayyaa, 2021) pone de manifiesto algunos sistemas de vigilancia que se probaron en civiles, en la calle como en barrios limitados, sin la comunicación y el consentimiento de aquellas personas. Por si fuese poco, estaban entrenados sobre todo con imágenes de hombres blancos, por lo que el reconocimiento de algunas personas negras era defectuoso, confundiéndolas con criminales, que podía haber puesto en marcha un protocolo para detenerlas, no habiendo cometido ningún delito. En un combate, un sesgo en los entrenamientos podría llevar a la muerte a personas que el sistema de IA reconociese falsamente como un objetivo, si el sistema además fuese capaz de actuar por sí solo. Es decir, los algoritmos de inteligencia artificial podrían dar resultados impredecibles y no convencionales, que conducen a fallos, que podrían ser aprovechados por el enemigo (Pfaff, 2020; Sayler, 2020).

Asimismo, los sistemas conocidos como “Deep fakes”, en los que se falsifican imágenes o vídeos haciendo que parezcan reales, pueden utilizarse para la generación de noticias falsas y otros elementos que minen la confianza, incluida la defensa. Se están realizando avances éticos y legales

para cubrir los problemas que presenta la inteligencia artificial, para que la sociedad se pueda aprovechar de sus beneficios, repartiendo responsabilidades a quienes hagan un mal uso de ella.

### 5.3.1. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en defensa

Por supuesto, la inteligencia artificial se está convirtiendo en un factor crítico en las guerras modernas. Se puede desplegar la IA en la mayor parte de los sistemas militares, por lo que no es de extrañar que la defensa esté investigando nuevas y avanzadas aplicaciones de uso de la IA. En la siguiente tabla (Tabla 4) se recogen las principales aplicaciones de la IA en el sector militar:

**Tabla 4:** Aplicaciones de la inteligencia artificial en el sector militar

Aplicación	Descripción
<b>Inteligencia, vigilancia y reconocimiento</b>	Utilidad en inteligencia por la gran cantidad de conjunto de datos (datasets) que puede manejar, automatizando el trabajo humano. Actualmente se ejecutan proyectos sobre visión computacional, reconocimiento de imágenes y análisis predictivos. Desarrollo de algoritmos de reconocimiento de discursos en múltiples lenguajes, traducción en entornos ruidosos, geolocalización de imágenes, generación de modelos 3D a partir de imágenes 2D, etc
<b>Logística</b>	Uso de IA para mantenimiento predictivo en plataformas, previniendo accidentes y ahorrando costes, capaces incluso de programar acciones de mantenimiento. También calcular rutas para realizar entregas de manera más eficiente, rápida y económica.
<b>Operaciones ciberespaciales</b>	Las herramientas dotadas con IA pueden entrenarse para detectar anomalías en la red, y presentar una barrera comprensible y dinámica para atacar dicha anomalía, de manera más eficiente que los métodos de ciberseguridad tradicionales. Los algoritmos de IA podrían detectar, evaluar y poner parches a las vulnerabilidades, en cuestión de segundos, como método de defensa, pero también para atacar otras redes en caso de que fuese necesario.
<b>Información y “Deep fakes”</b>	La IA permite fotos, audios y vídeos realistas que serían utilizados por los adversarios para generar noticias falsas, influenciar los discursos al público, erosionar la confianza e incluso chantajes. Muchos proyectos se están ejecutando para defenderse de estos “Deep fakes”. La IA también se puede utilizar para crear patrones digitales, por las que a través de una huella digital se puede rastrear el historial de compras, carrera profesional, suscripciones, etc., para generar perfiles de conducta.
<b>Orden y control</b>	El orden y control trata de planificar y ejecutar las operaciones aéreas, espaciales, ciberespaciales, marítimas y terrestres. La IA utilizaría datos de sensores en estos terrenos para crear una única fuente de información, para facilitar la toma de decisiones. Por ejemplo, tomar información de sistemas de armas. Los sistemas de IA podrían

	identificar relaciones de comunicación detenidas por el adversario, y encontrar alternativas; también, de proporcionar a los oficiales cursos de acción viables basados en análisis a tiempo real de la zona de combate, mejorando la calidad y velocidad de la toma de decisiones.
<b>Vehículos autónomos y semiautónomos</b>	Los servicios militares incorporarán la IA en sus vehículos autónomos y semiautónomos: aeronaves, drones, vehículos terrestres y marítimos, para percibir el ambiente, reconocer obstáculos, procesar datos, planificar la navegación y comunicarse con otros vehículos. También se están probando otros métodos de operación como los sistemas de enjambres.
<b>Sistemas de armas letales autónomos</b>	Son una clase de armas que utilizan sensores y algoritmos computacionales para identificar un objetivo y utilizar un sistema de ataque para destruir el objetivo, sin que exista control humano en ninguna parte del proceso. Permitirían operaciones militares en lugares donde no se puedan establecer canales de comunicación o donde los sistemas habituales no funcionan. Se espera que el proceso sea más efectivo, reduciendo la probabilidad de daños colaterales. Actualmente, es el campo en el que más avances jurídicos y éticos se están realizando.

### 5.3.2. Retos en la integración militar

La inteligencia artificial se ha estado desarrollando principalmente en compañías civiles, siendo la defensa quien está adaptando los recursos de IA a sus propios sistemas, en consonancia con el camino que ha tomado el desarrollo tecnológico actual. Además, la defensa se enfrenta a una serie de retos que impiden la adopción de la inteligencia artificial para sus propósitos militares (Horowitz & Scharre, 2021; Saylor, 2020).

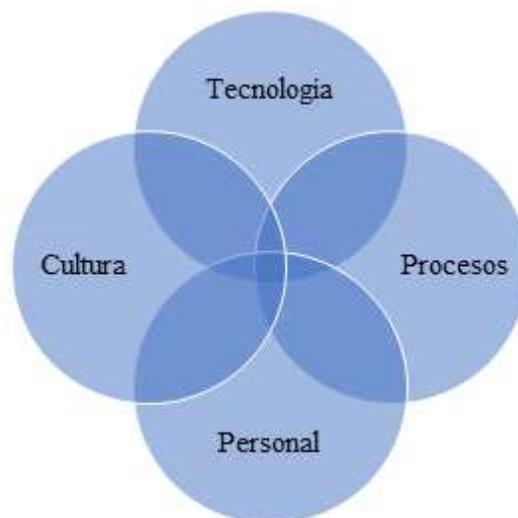


Figura 15. Retos a la hora de integrar la IA

### **5.3.2.1 La tecnología**

No todas las tecnologías comerciales de inteligencia artificial se adaptan con la misma facilidad en los sistemas militares, puesto que algunos sólo requieren de pequeñas modificaciones (por ejemplo, los algoritmos de mantenimiento predictivo). Sin embargo, los propósitos militares difieren mucho de los militares, normalmente más complejas, y por tanto sus desarrollos se han creado para cumplir con necesidades diferentes. Por ejemplo, los sistemas de navegación para vehículos autónomos: no son útiles los datos de entrenamiento de los vehículos civiles para los militares, porque estos últimos deben circular por territorios desconocidos o donde el GPS no funciona.

### **5.3.2.2 Los procesos**

Los procesos de defensa, incluidos aquellos relacionados con los estándares de seguridad, funcionamiento, adquisiciones y propiedad intelectual son otro reto que impide la integración de la IA. Estos estándares no están alineados con los estándares civiles, por lo que la transferencia no es sencilla. Además, los fallos comunes de la IA tendrían consecuencias aún más graves en ambientes complejos, como el combate. Para combatir este efecto, la defensa debería modificar los procedimientos de sus adquisiciones para seguir el ritmo del desarrollo de la IA.

Por otra parte, las compañías comerciales podrían poner objeciones a la hora de colaborar con las oficinas de defensa, por los complejos procesos de adquisición, derechos de autor y de propiedad intelectual.

### **5.3.2.3 Personal**

Los sueldos generalmente son más altos en las compañías civiles que en defensa, por tanto esta última tiene que enfrentarse al problema de no encontrar el personal cualificado necesario para incorporar la IA a sus sistemas, encontrando maneras para incentivar el talento humano dentro de su sector. Además, los cambios dentro de la defensa son usualmente lentos, probablemente ocasionado por la misma falta de personal. Si este hecho antes produjo el fenómeno de derrame tecnológico, por el cual el conocimiento militar saltó al civil, el efecto en dirección contraria parece complicado.

### **5.3.2.4 La cultura**

Las relaciones con las oficinas de defensa normalmente son pobres, debido a percepciones de desconfianza mutua, diferencias de sistemas de incentivos, y otras. Además, los departamentos de defensa normalmente evocan cuestiones de carácter ético por la actividad que desempeñan, y las

empresas civiles no quieren verse envueltas en esas funciones, también las que tienen que ver con el uso de la IA en armas o para sistemas de vigilancia.

También existen problemas en la propia cultura del sector de la defensa, puesto que la incorporación de la IA supondría tener que cambiar antiguos procedimientos estandarizados y roles ya establecidos entre el personal. Los miembros más veteranos son más aversos al riesgo, ralentizando la integración.

## Capítulo 6 PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO RELACIONADO CON LA DEFENSA Y EL DOBLE USO

En el último capítulo del documento se propone un proyecto relacionado con el desarrollo militar con beneficios a una parte del sector civil, al tener aplicaciones terapéuticas. Puesto que no existe una metodología específica, se utilizará la metodología del PMBoK para la planificación del proyecto.

### 6.1 Propuesta de planificación

Una de las aplicaciones de la tecnología que está desarrollando la defensa, es el mejoramiento humano, o el aumento del rendimiento normal de las funciones de los seres humanos. En el apartado 5.2.2 se expusieron ejemplos de proyectos dentro de este contexto; si bien hay algunos que bien podrían ser argumentos de películas de ciencia ficción, existen otros situados en la frontera entre lo que se considera tecnología militar y terapia, uso militar y aplicaciones civiles. Por ejemplo, aquellos cuyo objetivo es la construcción de exoesqueletos para dar a los soldados fuerza extraordinaria, y de robots para sustituir a los soldados en operaciones delicadas, funciones muy alejadas de la terapia. Actualmente, la defensa está trabajando en mejorar las prótesis convencionales con tecnología que posibilita la propiocepción de los miembros amputados, es decir, que los pacientes que utilicen esta tecnología sean capaces de saber en qué posición está la extremidad y sean conscientes de su movimiento.

Se han producido enormes avances médicos que han mejorado la vida de quienes, debido a enfermedades como el cáncer, accidentes o enfermedades congénitas, han perdido alguna o ambas extremidades superiores. Sin embargo, aún no se ha llegado a una solución tecnológica que otorgue a estas personas la capacidad de propiocepción, de capacidad motora y de sensibilidad. Esto perjudica a la aplicación de prótesis, puesto que reduce su efectividad, disminuyendo asimismo la disposición de los pacientes a usarlas. Mediante el desarrollo de prótesis, como las que las desarrolladas por la defensa, pretende superar este obstáculo: recuperando estas capacidades, se restauran la mayor parte de las funciones normales y, además, se espera que se reduzcan los síntomas producidos por el síndrome del miembro fantasma.

La planificación se realizará siguiendo la metodología del Project Management Institute, la guía PMBoK, concretamente, la sexta edición del manual. El PMBoK recoge los conocimientos de la dirección de proyectos, está generalmente reconocido y basado en buenas prácticas.

## 6.1.1. Procesos de inicio

### 6.1.1.1 Acta de constitución

Tabla 5: Ejemplo de una posible acta de constitución del proyecto

<b>Título</b>	Estudio piloto de la prótesis manual desarrollada en programas de defensa
<b>Promotor</b>	Centro Tecnológico, Comisión Europea
<b>Fecha de inicio</b>	03/enero/2022
<b>Fecha de fin</b>	11/julio/2024
<b>Presupuesto (aprobado)</b>	391.473,08 €
<b>Project Manager</b>	Leticia Ruiz Pérez
<b>Objetivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Crear una alianza con la defensa, para préstamos de tecnología a corporaciones civiles que deseen diversificarse hacia ese sector.</li> <li>▪ Elaborar un estudio de viabilidad de la tecnología para aplicaciones terapéuticas, incluyendo la posibilidad de realizar un estudio a mayor escala, estimando los parámetros que afectarían este último (estrategia de captación de voluntarios, técnicas de muestreo, tamaño de la muestra a partir de estimaciones de la variabilidad de los resultados, etc.)</li> <li>▪ Evaluar los procesos y métodos de investigación y desarrollo de la tecnología y encontrar problemas y obtener información para solucionarlos y mejorar los protocolos, detectar riesgos anticipadamente y proponer estrategias para abordarlos.</li> <li>▪ Obtener financiación para continuar con el desarrollo de la tecnología de modo que el producto final sea una prótesis útil y cómoda de usar para los pacientes con extremidades superiores amputadas.</li> <li>▪ Encontrar una metodología de gestión apropiada para proyectos de naturaleza clínica, de tecnologías emergentes, de tecnologías destinadas al doble uso.</li> </ul>
<b>Criterios de éxito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Obtención de la aprobación del ensayo por los organismos reguladores: Agencia Española del Medicamentos y Productos Sanitarios y por el Comité Ético de Investigación Clínica.</li> <li>▪ Métricas de evaluación del desempeño del proyecto desde el punto de vista de la DP y de las guías de Buenas Prácticas Clínicas.</li> </ul>

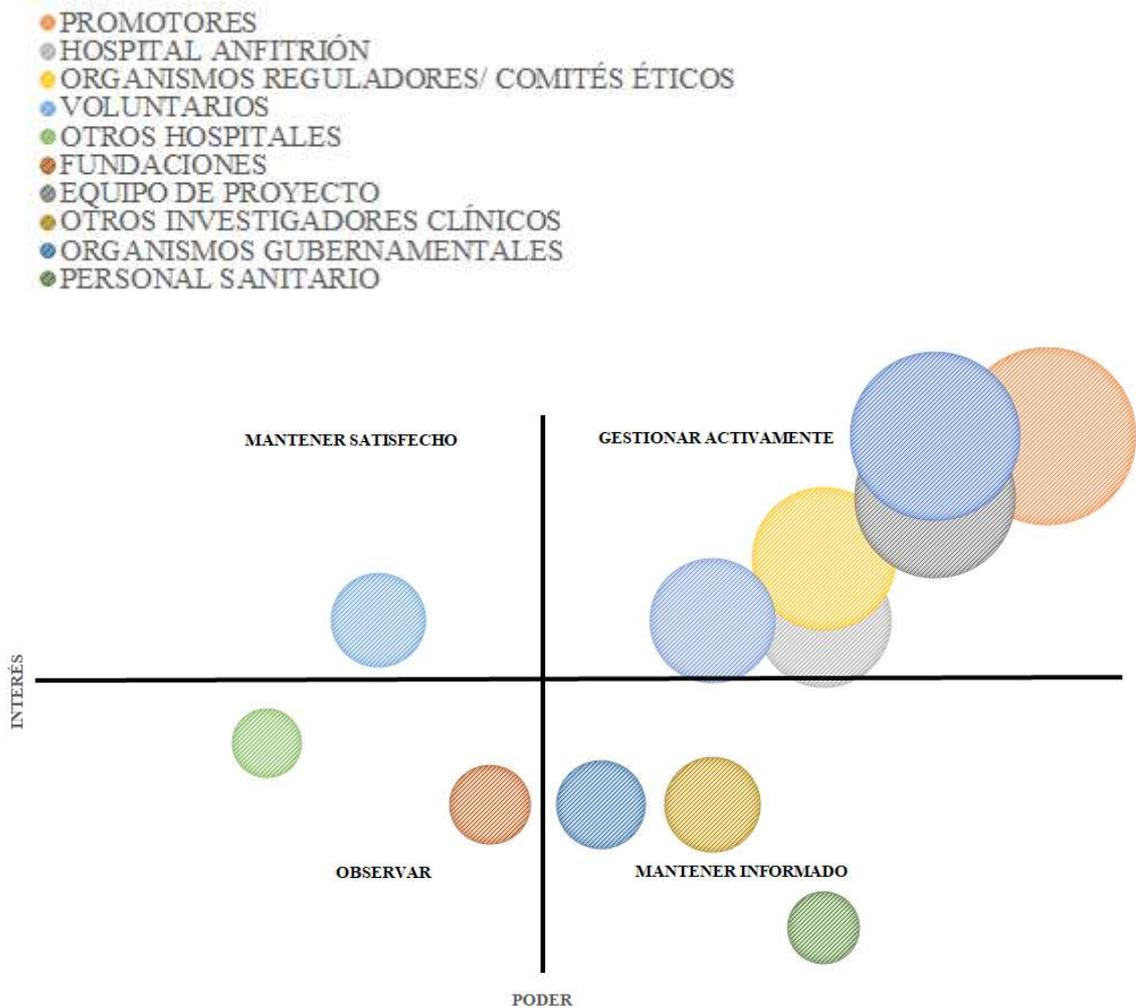
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Satisfacción de los participantes voluntarios después del uso de la prótesis.</li> <li>▪ Culminación del estudio piloto, con un estudio de viabilidad favorable.</li> <li>▪ Posibilidad de continuación con actividades de desarrollo de la prótesis y los sistemas de percepción y estimulación.</li> </ul>
<b>Requisitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los procedimientos se realizarán en el Hospital Río Carrión de Palencia</li> <li>▪ Tamaño de la muestra no superior a 5 personas mayores de edad que no hayan tenido relación prueba con el sector militar y que cumplan los requisitos clínicos necesarios.</li> <li>▪ Diseño del estudio piloto siguiendo las Buenas Prácticas Clínicas, así como los preceptos del comité de ética.</li> <li>▪ Cumplimentación de la documentación requerida por los organismos que aprueban los ensayos clínicos antes, durante y después del estudio             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transparencia en las actividades, procesos de transferencia tecnológica.</li> <li>▪ Sin conflictos de interés.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Riesgos de alto nivel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conflictos de interés debido a presiones de las grandes corporaciones de defensa para sobreestimar los resultados o para proporcionar la terapia a sujetos no seleccionados de manera justa.</li> <li>▪ Reputación en duda por desarrollo de tecnología militar hacia una aplicación alternativa.</li> <li>▪ Necesario el transporte de prótesis en desarrollo desde el país de fabricación y ensamblaje y pruebas en país distinto.</li> <li>▪ Aprobación necesaria por organismos reguladores para poder realizar el estudio</li> <li>▪ Fabricación de un número suficiente de prótesis para que el estudio sea relevante (tecnología aún en fase de desarrollo)</li> <li>▪ Adecuación del entorno hospitalario para poder realizar la prueba</li> </ul>
<b>Entregables</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Oferta de la Organización de Investigación por Contrato, quien gestionará la totalidad del estudio piloto             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contrato con el patrocinador</li> </ul> </li> <li>▪ Documentación para aprobación de la prueba piloto             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Formulario de consentimiento informado</li> <li>▪ Diseño del estudio piloto: tipo de ensayo clínico, requisitos de inclusión, exclusión y retirada de voluntarios, tratamiento a recibir, plazos etc.</li> <li>▪ Informe de resultados y tratamiento de los datos.                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Artículo científico.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estimación de los parámetros para ensayo clínico a mayor escala</li> <li>▪ Estructura de base de datos para posteriores ensayos</li> <li>▪ Actualización del registro de riesgos del Programa HAPTIX.</li> <li>▪ Plan de formación para el personal sanitario del hospital que acogerá el ensayo</li> </ul>
<b>Hitos principales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Firma del contrato</li> <li>▪ Transferencia de fondos para la ejecución del proyecto <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recepción de las prótesis</li> <li>▪ Validación del protocolo de ensayos</li> </ul> </li> <li>▪ Sala de pruebas preparada para ensayos <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Formación del personal</li> <li>▪ Culminación de la prueba piloto</li> </ul> </li> <li>▪ Reclutamiento de voluntarios para el ensayo <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Decisión sobre viabilidad</li> <li>▪ Informe final</li> </ul> </li> </ul>
<b>Interesados principales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pacientes</li> <li>▪ Promotor</li> <li>▪ Hospital Clínico Universitario de Valladolid <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comité de Ética</li> <li>▪ AEMPS</li> </ul> </li> <li>▪ Otros centros de investigación y fundaciones <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo de proyecto</li> </ul> </li> </ul>

### 6.1.1.2 Identificación de los interesados

Se han identificado los principales interesados del proyecto, aquellas personas, grupos de trabajo, organismos y otras entidades que se ven afectados por el desempeño del trabajo del proyecto, y que pueden a su vez impactar sobre los objetivos del proyecto. Es necesario comprender su interés en el proyecto y su capacidad de influencia para poder aprovechar ambas en favor del proyecto, mediante estrategias de involucración. Además, no todos los interesados tendrán el mismo nivel de interés, poder o influencia en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto, ya que la satisfacción de todos los interesados determina el éxito del proyecto.

La manera de identificarlos ha sido mediante el análisis de los objetivos y los requisitos del proyecto, identificando los potenciales actores que podrían influenciarlos. Se ha valorado su capacidad de poder e influencia otorgando un valor numérico entre el 1 y el 10 para cada categoría. La Figura 16. Mapa de interesados en función de su poder e interés en el proyecto representa a los interesados en un mapa de poder e interés que distingue cuatro zonas que sugieren estrategias de gestión de los interesados:



**Figura 16.** Mapa de interesados en función de su poder e interés en el proyecto

Asimismo, se ha utilizado el modelo de prominencia para clasificar a los stakeholders en función de su poder, legitimidad y urgencia esperada desde una perspectiva global, representado en la Figura 17.

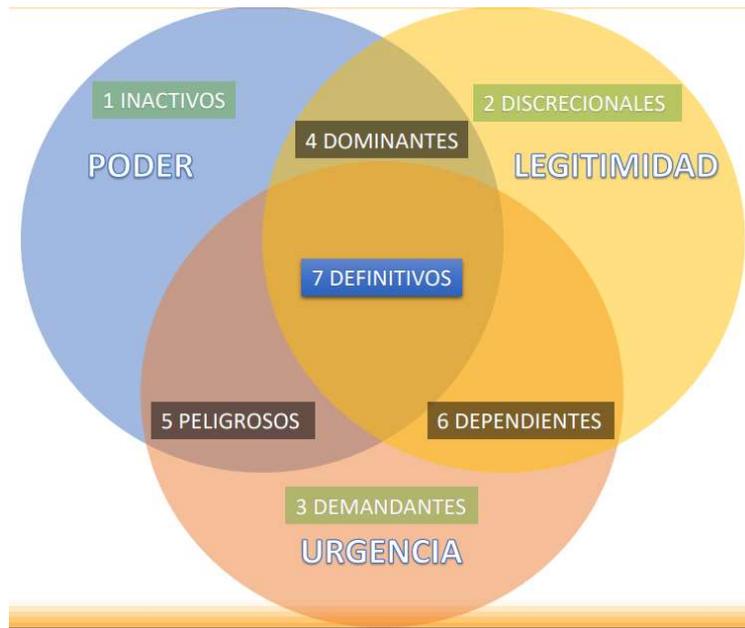


Figura 17: Modelo de prominencia de Mitchell

## 6.1.2. Procesos de planificación

### 6.1.2.1 Definición del alcance

Tabla 6: Enunciado del alcance del proyecto

<p><b>Alcance del proyecto</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transferencia de la tecnología de corporaciones de Defensa para poder demostrar el doble uso tecnológico.</li> <li>▪ Diseño y desarrollo del implante nervioso que permita el control y sensorización de la prótesis</li> <li>▪ Obtención de permisos para realizar el estudio piloto de carácter clínico</li> <li>▪ Realización de un estudio piloto para comprobar la viabilidad de la tecnología transferida como prótesis del brazo derecho, aplicación distinta a la planificada inicialmente.</li> </ul>
<p><b>Restricciones</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estudio piloto supervisado por la AEMPS y el Comité de Ética</li> <li>▪ Contrato con la corporación que transfiere la tecnología para su explotación futura.</li> </ul>

<b>Exclusiones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No se realizarán actividades de desarrollo tecnológico en este proyecto. Las únicas operaciones técnicas serán reparaciones o mantenimiento de la prótesis.</li> </ul>
<b>Hipótesis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las prótesis estarán adaptadas para el estudio piloto, y la adaptación la realizará la empresa que las transfiera</li> <li>▪ La documentación a presentar a los organismos reguladores del estudio piloto estará disponibles y actualizados.</li> <li>▪ Los participantes se seleccionarán entre los pacientes del hospital que cumplan los requisitos. Si alguien abandona, no se reemplazará.</li> </ul>

## Objetivos

En este trabajo se desarrollará la planificación de un estudio piloto para estudiar la viabilidad de adaptar una tecnología destinada a la defensa, concretamente un brazo robótico para la fabricación de exoesqueletos, armaduras o robots de combate, para ser utilizada con fines terapéuticos, en concreto, como prótesis de mano.

Un estudio piloto es un estudio a pequeña escala, cuyo principal objetivo es de la recolección de datos para, con ellos, evaluar los objetivos del programa, comprobar la viabilidad de la tecnología en desarrollo, evaluar los riesgos del programa y establecer estrategias para la mitigación de los riesgos. Los estudios piloto se realizan antes de otros estudios a mayor escala, para que estos últimos sean diseñados para que proporcionen resultados de mejor calidad que sean útiles para tomar decisiones sobre el programa de proyectos que está desarrollando una tecnología novedosa.

En este proyecto el estudio piloto es una prueba de carácter clínico. Los estudios clínicos son investigaciones que se realizan sobre personas, para evaluar la efectividad de tratamientos, medicamentos, procedimientos, etc., y valorar la posible mejora de la calidad de vida de los pacientes. Para este estudio, el tamaño de la muestra será pequeña, de unos 5 individuos, a quienes se les aplicará el mismo tratamiento.

De la buena planificación de los estudios piloto depende que los resultados obtenidos sean útiles:

- A nivel de gestión de programas y proyectos, se pueden determinar estrategias de respuesta a riesgos del programa, al detectar vulnerabilidades en este caso tanto en la tecnología como en su aplicación médica. Por tanto, con los estudios piloto, se puede tomar decisiones sobre el programa de proyectos.
- Determinar que la tecnología que se está desarrollando es suficiente para cumplir los objetivos.
- Obtener protocolos para los ensayos clínicos.
- Se puede obtener financiación para realizar estudios a mayor escala.
- Detección de problemas en el proceso de investigación.
- Para planificar estudios a mayor escala.

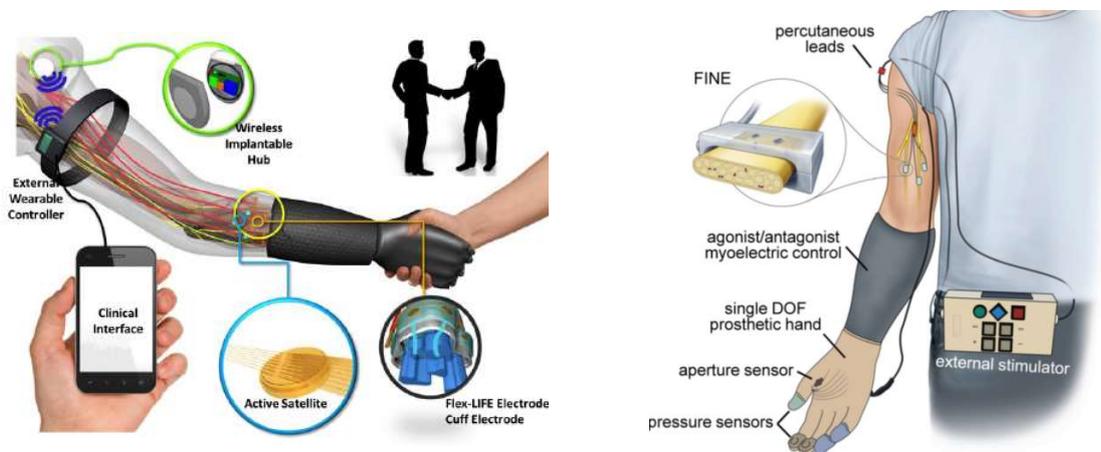
## Limitaciones

Los datos obtenidos en un estudio piloto no pueden ser utilizados para estudios a mayor escala, porque las respuestas de los pacientes involucrados en el piloto no serían imparciales. Los datos obtenidos en estudios a mayor escala podrían estar contaminados si se reutilizasen los datos del estudio piloto, en conjunto a los datos obtenidos en el nuevo estudio.

## Diseño del estudio

El estudio piloto consiste en la colocación de una prótesis en un máximo de 5 pacientes con la extremidad superior derecha amputada, y que ya hayan usado una prótesis. La prótesis está formada por dos módulos:

- Un implante sensorial que se integra en los nervios del brazo a través de cirugía, que debe desarrollarse durante el proyecto. Este implante debe ser pequeño para colocarse junto a un nervio sin que sea molesto. Este implante consta de electrodos que se conectan a un receptor. El implante permitiría la estimulación de una serie de electrodos a través de dos fuentes de estimulación, y recogerá los datos de los sensores almacenándolos en un dispositivo portátil.
- La mano protésica, la cual llevará integrados sensores de manera que permita la apertura del puño y sensores de presión que simulen el tacto. La prótesis deberá ser portada durante las pruebas en laboratorio, pero se podrá retirar al terminar.



**Ilustración 1:** Esquema del funcionamiento de la tecnología

El estudio consistirá en tres fases:



**Figura 18:** Fases del estudio piloto

Mientras que las fases 2 y 3 tendrán lugar en los hogares de los participantes, la fase 1 ocurrirá en instalaciones facilitadas por el hospital anfitrión, y estarán vigiladas por el investigador principal del proyecto, ya que se espera que sea en esta fase donde se localicen la mayor parte de los errores técnicos o de ingeniería de la prótesis. De esta manera parte del estudio será en un entorno controlado, mientras que la otra parte será un estudio pragmático en un entorno real.

### Generación de datos

Otro de los puntos importantes del proyecto es una buena recolección de datos para poder cumplir con algunos de los objetivos del proyecto. Éstos deben estar estructurados y deben recogerse en los momentos oportunos. Por ejemplo, se puede recurrir a encuestas diarias con preguntas acerca de las sensaciones y la experiencia de portar las prótesis de manera continua, similar a un diario personal. Durante las pruebas en laboratorio se rellenarán otras encuestas, relacionadas con la percepción del uso de la prótesis y sobre la realización de tareas controladas. Entre las fases del estudio, se proponen entrevistas estructuradas por el equipo de investigación y desarrollo de la prótesis. Las entrevistas, los cuestionarios y demás métodos deben recoger información relativa a las siguientes categorías:

- Interferencias sobre el control: movimientos inadvertidos, incapacidad de movimiento, falta de sensación, etc.
- Desconfianza sobre el sistema: expresiones de preocupación, intranquilidad, molestias o cualquier otro sentimiento que muestre desconfianza hacia el sistema.
- Localización de las sensaciones: localización de las sensaciones que proporciona la estimulación.
- Ritmo de las sensaciones: sobre la sincronización percibida de los receptores.
- Intensidad de las sensaciones
- Estabilidad de las sensaciones:
  - Cambios en la intensidad de las sensaciones, a lo largo del día o del estudio completo
  - Cambios en la localización de los receptores sensoriales a lo largo del día o durante el estudio.
  - Cambios en la posición del brazo: cómo cambió la sensación cuando el brazo se encontraba en distintas posiciones.
  - Consistencia de las sensaciones: si alguna vez la sensación fue errática.
- Interacción con la prótesis: comentarios sobre las propiedades y características de la prótesis y sobre los sensores, peso, suavidad, si provoca heridas u otro tipo de lesiones, etc.
- Conectores y cables: facilidad de uso, problemas y otras experiencias con las conexiones, como desconexiones accidentales, etc.
- Capacidad de realizar acciones cotidianas: agarrar y elevar objetos, etc.
- Calidad de vida: cómo se perciben los participantes con la prótesis colocada, si se sienten cómodos, si sienten que su autoestima mejora, si han visto incrementada su calidad de vida en el hogar y durante interacciones sociales.

El análisis de los datos lo realizará un analista que formará parte del equipo de proyecto, con experiencia en estudios con prótesis, que tratará de desarrollar un entendimiento holístico de las experiencias de los participantes en el estudio piloto. La interpretación de los datos es compleja, puesto que se está estudiando un fenómeno en el que las relaciones entre conceptos no están comprendidas. Se intentará encontrar interacciones entre las categorías de datos para comprender las relaciones entre ellos, y así continuar con el desarrollo de la prótesis más eficazmente, conociendo como interaccionan los parámetros (de propiocepción, de sensación, de autoestima, etc.) entre sí.

#### ***6.1.2.1.1 Creación de la estructura de desglose de trabajo***

A continuación, se muestra la EDT o estructura de desglose de trabajo. Se ha pensado tomando como referencia los puntos del alcance del proyecto y sus entregables. Después se hizo un mapa del trabajo y se ha dividido en partes que fuesen más manejables, y que se puedan subdividir en actividades de manera sencilla. El nivel superior de la EDT muestra de manera más concisa el trabajo del proyecto, mientras que los niveles más bajos son más específicos y están dispuestos de manera cronológica.

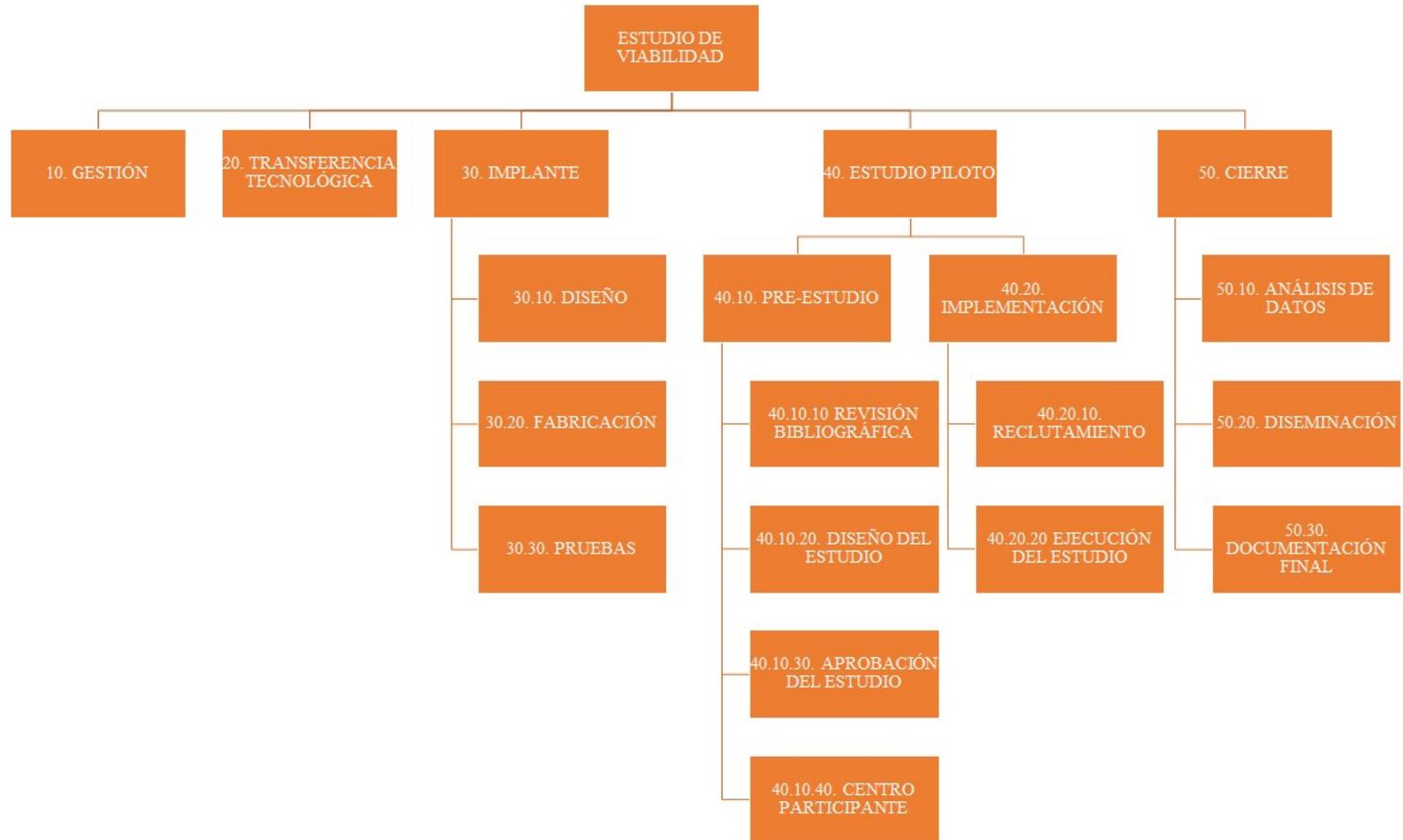


Figura 19: Estructura de desglose de trabajo

## 6.1.2.1.2 Diccionario de la EDT

<b>Código de la EDT:</b> 20.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Transferencia de la tecnología
<b>Responsables:</b>	Directora de proyectos
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contrato con la empresa que transfiere la tecnología</li> <li>▪ 5 prótesis para el estudio</li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Firma del contrato</li> <li>▪ Recepción de los prototipos</li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda y selección de la firma de defensa que pueda proporcionar los prototipos</li> <li>▪ Redacción del contrato</li> <li>▪ Modificaciones del contrato</li> <li>▪ Adaptación de la tecnología para ser utilizada como prótesis               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Envío y recepción de las prótesis</li> </ul> </li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo del proyecto</li> <li>▪ Actividades de las que son responsables la empresa que transfiere la tecnología</li> </ul>

<b>Código de la EDT:</b> 30.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Implante
<b>Responsables:</b>	Ingeniera mecánica
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diseño del implante nervioso</li> <li>▪ 5 implantes</li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Compra de los materiales</li> <li>▪ Validación del implante</li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión de otros diseños de implantes similares               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diseño de los implantes</li> <li>▪ Adquisición de los materiales:</li> </ul> </li> <li>▪ Búsqueda de proveedores y selección de proveedores               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Compra y recepción de los materiales</li> <li>▪ Fabricación de los implantes nerviosos</li> <li>▪ Pruebas del implante en banco de pruebas</li> <li>▪ Integración del implante con la prótesis</li> </ul> </li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo del proyecto</li> <li>▪ Equipo de I+D para diseño, desarrollo y pruebas</li> <li>▪ Laboratorio para desarrollo y banco de pruebas</li> <li>▪ Materiales para la fabricación de los implantes</li> </ul>

<b>Código de la EDT:</b> 40.10.10.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Revisión bibliográfica
<b>Responsables:</b>	Ingeniero biomédico
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informe de viabilidad del ensayo</li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Decisión sobre viabilidad del estudio</li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión de documentación de ensayos similares</li> <li>▪ Revisión normas Buenas Prácticas Clínicas</li> <li>▪ Revisión criterios éticos para realización de ensayos</li> <li>▪ Redacción de informe de viabilidad técnica del ensayo</li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo del proyecto</li> </ul>

<b>Código de la EDT:</b> 40.10.20.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Diseño del estudio
<b>Responsables:</b>	Investigadora principal
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diseño del estudio piloto: cirugía y pruebas</li> <li>▪ Programa de cirugías y pruebas</li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Formación del personal finalizada</li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recopilación de información relativa a ensayos similares</li> <li>▪ Diseño de las pruebas con la prótesis implantada</li> <li>▪ Referenciar estudio a normas de Buenas Prácticas Clínicas</li> <li>▪ Elaboración del plan de formación para el personal</li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo del proyecto</li> <li>▪ Personal sanitario del hospital</li> </ul>

<b>Código de la EDT:</b> 40.10.30.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Aprobación del estudio
<b>Responsables:</b>	Investigadora principal
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Protocolo de ensayos</li> <li>▪ Dossier de ensayos para AEMPS y CEIC</li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Autorización del protocolo</li> <li>▪ Autorización del ensayo</li> <li>▪ Presentación de solicitudes a AEMPS y CEIC               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aprobación del ensayo</li> <li>▪ Notificación de la fecha de inicio</li> </ul> </li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elaboración del protocolo de ensayos</li> <li>▪ Circulación del protocolo para aportaciones Integración de cambios en protocolo               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión de los cambios</li> </ul> </li> <li>▪ Redacción del protocolo de ensayos               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solicitud número EudraCT</li> </ul> </li> <li>▪ Preparación dossier ensayos para aprobación CEIC               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión/aclaraciones CEIC</li> <li>▪ Preparación dossier para la AEMPS</li> </ul> </li> <li>▪ Revisión y cambios en dossier para AEMPS</li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo del proyecto</li> </ul>

<b>Código de la EDT:</b> 40.10.40.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Centro participante
<b>Responsables:</b>	Investigadora principal
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CV del personal sanitario involucrado y de los investigadores del centro               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informe idoneidad centro                   <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seguros</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Firma del acuerdo con el hospital anfitrión</li> <li>▪ Visita a las instalaciones del hospital.               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sala de pruebas (fase 1) preparada</li> <li>▪ Envío de las prótesis al hospital</li> </ul> </li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión de la estructura y dotación tecnológica del centro de ensayos</li> <li>▪ Elaboración informe de idoneidad del centro</li> <li>▪ Redacción acuerdo colaboración con hospital               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión y cambios</li> <li>▪ Envío y recepción de las prótesis</li> <li>▪ Preparación de sala de pruebas                   <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Preparación de quirófanos</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo del proyecto</li> <li>▪ Personal sanitario del hospital</li> </ul>

<b>Código de la EDT:</b> 40.20.10.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Reclutamiento
<b>Responsables:</b>	Investigadora principal
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dossier del estudio piloto para los voluntarios               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Consentimiento informado</li> <li>▪ Listado final de voluntarios</li> </ul> </li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Selección de participantes</li> <li>▪ Documento de consentimiento informado firmado por los voluntarios</li> <li>▪ Entrega del listado final al personal del hospital</li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Redacción del procedimiento del consentimiento informado para pacientes</li> <li>▪ Elaboración de un dossier informativo para voluntarios</li> <li>▪ Determinación de criterios de inclusión y exclusión de voluntarios</li> <li>▪ Anuncio y difusión del ensayo a potenciales voluntarios               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recepción de inscripciones de voluntarios</li> <li>▪ Selección de voluntarios</li> </ul> </li> <li>▪ Reunión con voluntarios (para firmar el consentimiento informado)</li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo del proyecto</li> <li>▪ Personal sanitario del hospital</li> </ul>

<b>Código de la EDT:</b> 40.20.20.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Ejecución del ensayo
<b>Responsables:</b>	Investigadora principal
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Historial clínico actualizado de los pacientes               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informes de desarrollo del estudio</li> </ul> </li> <li>▪ Encuestas y diarios de los pacientes en las fases del estudio</li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cirugías de los 5 pacientes</li> <li>▪ Entrevistas con pacientes</li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Preparación de los participantes a la cirugía</li> <li>▪ Cirugías para inserción del implante nervioso</li> <li>▪ Recuperación de los pacientes de la cirugía               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fase 1: pruebas en entorno controlado</li> </ul> </li> <li>▪ Fase 2: pruebas con prótesis completa con implante nervioso en el hogar</li> <li>▪ Fase 3: pruebas con prótesis completa con implante nervioso en el hogar (parte 2)               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recolección de datos</li> </ul> </li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo del proyecto</li> <li>▪ Personal sanitario del hospital</li> <li>▪ Sala de pruebas en hospital</li> <li>▪ Quirófanos en hospital               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Material sanitario</li> </ul> </li> <li>▪ Prótesis e implantes</li> </ul>

<b>Código de la EDT:</b> 50.10.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Análisis de los datos
<b>Responsables:</b>	Analista de datos
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuaderno de pruebas</li> <li>▪ Estructuración de entrevistas con voluntarios               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Encuestas a participantes                   <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Base de datos</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Decisión sobre viabilidad del desarrollo de la prótesis para fines terapéuticos</li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Especificación, desarrollo y validación del cuaderno de recogida de datos</li> <li>▪ Especificación, desarrollo y validación de la base de datos               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Depuración de los datos                   <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exportación de datos a la base de datos</li> </ul> </li> <li>▪ Análisis estadístico e interpretación de los datos                   <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Redacción del informe</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>▪ Elaboración del informe de viabilidad técnica de la prótesis</li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo de proyecto</li> </ul>

<b>Código de la EDT:</b> 50.20.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Diseminación de los resultados
<b>Responsables:</b>	Consultor tecnológico
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Artículos, póster y otros documentos para la publicación</li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Publicación de artículos</li> <li>▪ Reunión final con participantes y personal sanitario para valoración final</li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Redacción de artículo científico con resultados</li> <li>▪ Redacción de artículo para prensa especializada</li> <li>▪ Elaboración de un póster con visualización de resultados               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cambios y modificaciones</li> </ul> </li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo de proyecto</li> </ul>

<b>Código de la EDT:</b> 50.30.	
<b>Nombre del paquete de trabajo:</b>	Documentación final
<b>Responsables:</b>	Directora de proyectos
<b>Entregables:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Documentos finales</li> </ul>
<b>Hitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cierre del ensayo clínico</li> <li>▪ Entrega de cuadernos de laboratorio y otros documentos a organismos correspondientes               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cierre del proyecto</li> </ul> </li> </ul>
<b>Actividades:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Redacción y presentación de documentación final</li> </ul>
<b>Recursos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo de proyecto</li> </ul>

### 6.1.2.2 Estimación de los costes

En este apartado se estimará el presupuesto del proyecto. A continuación, en la Tabla 7, se exponen los diversos gastos del proyecto. Se suponen algunas cuestiones:

- La empresa que ejecuta el proyecto cede sus instalaciones para todos los procesos de desarrollo y gestión: oficinas, laboratorios y equipos de los que ya se disponía.
- El equipo de proyecto trabajará a tiempo completo en el proyecto, por lo que su salario completo figurará como coste.
- Para el desarrollo y fabricación de los implantes que permitirán la sensorización de la prótesis, se contará con un equipo formado por 5 ingenieros, externo al proyecto al equipo de proyecto y que trabaja en la organización. Su salario se contempla en el presupuesto del proyecto.
- El trabajo del personal sanitario, cesión de instalaciones en el hospital y otro tipo de gastos asociados se han presupuestado en 12,500 euros.

Los costes del proyecto se han calculado mediante estimación ascendente, es decir, se han planteado los distintos recursos que se necesitarán en cada actividad y se ha asignado un coste estimado a cada uno de ellos, para así calcular los costes de cada paquete de trabajo y del proyecto global. Esta estimación se recoge en la Tabla 8.

**Tabla 7:** Estimación del coste de los recursos del proyecto

Gastos	Paquete de trabajo	Descripción	Coste (€)
<b>Adaptación de la tecnología</b>	20. Transferencia de la tecnología	Costes asociados a la adaptación de la tecnología militar para poder estudiar su viabilidad como prótesis	80.000 €
<b>Laboratorios de I+D</b>	30. Implante	Instalaciones para el desarrollo de la prótesis	0 €
<b>Materiales y equipos</b>	30. Implante	Aquellos equipos y materiales que sean necesarios para el desarrollo y fabricación de los implantes nerviosos necesarios.	35.000 €
<b>Equipo de ingeniería</b>	30. Implante	Personal necesario para desarrollar y fabricar las prótesis	80 €/hora
<b>Personal sanitario</b>	40.10.40 Centro participante 40.20.20 Ejecución del estudio	Equipo de enfermeras, médicos y cirujanos necesarios para la conducción del estudio clínico	
<b>Sala de pruebas</b>	40.20.20 Ejecución del estudio piloto	Instalaciones necesarias para la fase 1 del estudio clínico	12.500 €
<b>Quirófanos</b>	40.20.20 Ejecución del estudio piloto	Instalaciones para la colocación del implante nervioso	
<b>Analista de datos</b>	10. Gestión 40.20.20 Ejecución del estudio piloto 50.10. Análisis de datos		45.000 €
<b>Investigadora principal</b>	10. Gestión 40.10.20. Diseño del estudio 40.10.30. Aprobación del estudio 40.10.40. Centro participante 40.20.10. Reclutamiento 40.20.20 Ejecución del estudio piloto 50.20. Disseminación	Equipo de la gestión del proyecto. Cada miembro es responsable de varias tareas y paquetes de trabajo completos	45.000 €
<b>Ingeniera mecánica</b>	20. Transferencia de la tecnología 30. Implante 40.10.40. Centro participante		35.000 €

<b>Consultora legal</b>	20. Transferencia de la tecnología 40.10.10. Revisión bibliográfica 40.10.40. Centro participante	35.000 €
<b>Consultor biomédico</b>	40.10.10. Revisión bibliográfica 40.10.20. Diseño del estudio 40.10.30. Aprobación del estudio 40.10.40. Centro participante 40.10.20. Reclutamiento 50.10. Análisis de datos 50.20. Diseminación	35.000 €
<b>Directora del proyecto</b>	Todos	50.000 €

### 6.1.2.3 Determinación del presupuesto

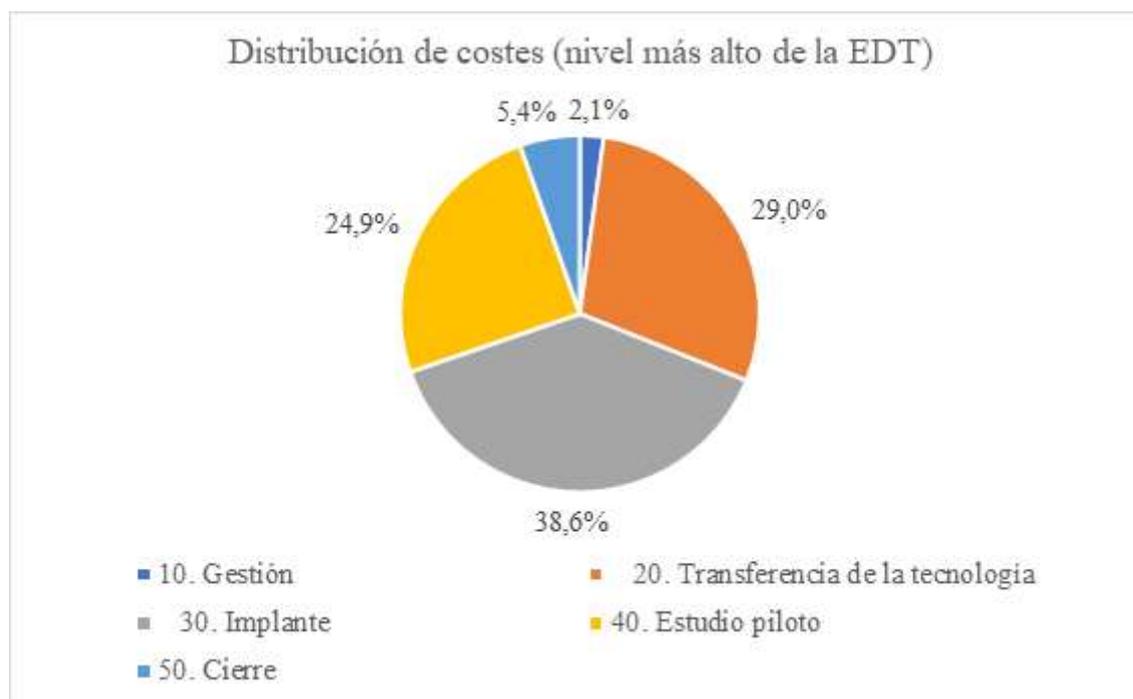
Los paquetes de trabajo tienen el coste que se muestra en la Tabla 8. La lista completa de actividades con sus costes asociados se podrá consultar en el anexo.

**Tabla 8:** Costes de los paquetes de trabajo del proyecto

Paquete de trabajo	Nivel de la EDT	Coste del paquete de trabajo	Porcentaje del coste total (%)
<b>10. Gestión</b>	1	8.365,38 €	2,1%
<b>20. Transferencia de la tecnología</b>	1	113.461,54 €	29,0%
<b>30. Implante</b>	1	151.050,00 €	38,6%
<b>40.10.10 Revisión bibliográfica</b>	3	5.173,08 €	1,3%
<b>40.10.20. Diseño del estudio</b>	3	8.923,08 €	2,3%
<b>40.10.30. Aprobación del estudio</b>	3	29.288,46 €	7,5%
<b>40.10.40. Centro participante</b>	3	22.038,46 €	5,6%
<b>40.20.10. Reclutamiento</b>	3	4.096,15 €	1,0%

<b>40.20.20. Ejecución del estudio piloto</b>	3	27.903,85 €	7,1%
<b>50.10. Análisis de datos</b>	2	7.057,69 €	1,8%
<b>50.20 Diseminación</b>	2	10.269,23 €	2,6%
<b>50.30. Documentación final y cierre</b>	2	3.846,15 €	1,0%
<b>Coste total del proyecto</b>		<b>391.473,08 €</b>	<b>100,0%</b>

Por otro lado, la Figura 20 muestra la distribución de los costes del proyecto en el nivel más alto de la EDT, que representa de manera más global el alcance completo del proyecto:



**Figura 20:** Distribución de costes en el nivel más alto de la EDT

El trabajo que se espera tiene más costes es el relacionado con el desarrollo del implante nervioso, por el tiempo y la cantidad de recursos que requiere. La Figura 21 muestra la línea base de costes del proyecto y su distribución en los trimestres que dure el proyecto.

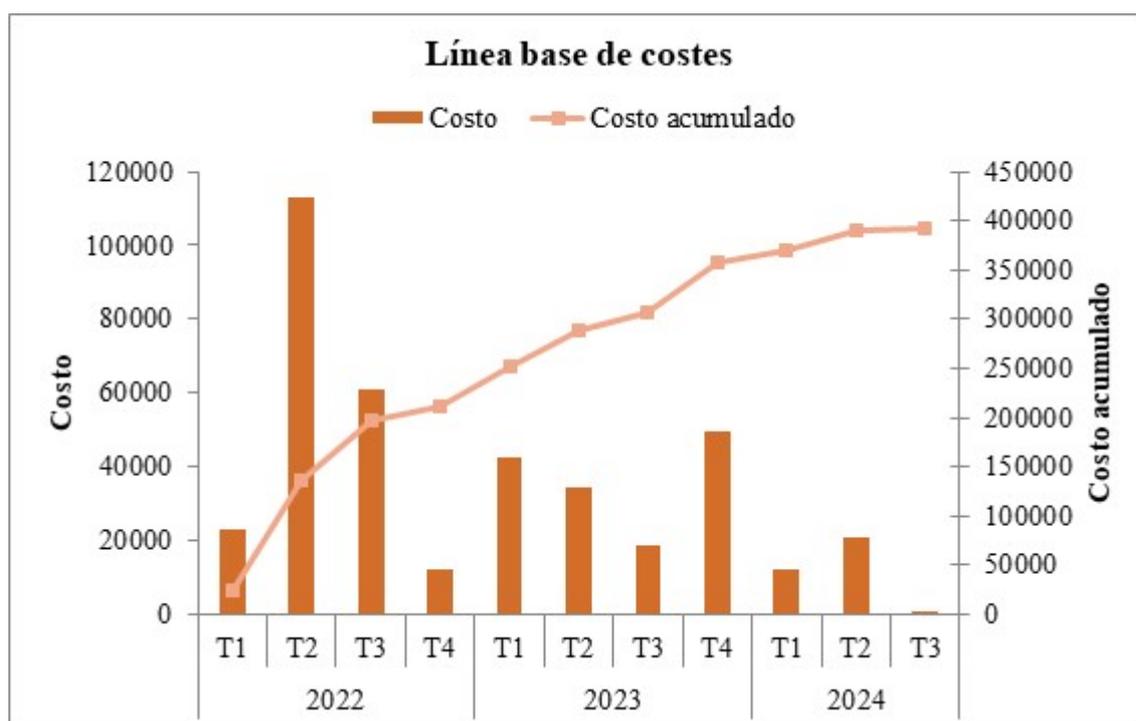


Figura 21: Línea base de costes del proyecto

Con la línea base de costes, representada arriba, se podrá planificar la financiación del proyecto. Además, servirá como referencia para controlar los costes del proyecto, a través de métodos como el análisis del valor ganado. Este análisis permite calcular desviaciones en el alcance, presupuesto y cronograma del proyecto y tomar decisiones para corregirlos en caso de que impacten negativamente al proyecto, a través del cálculo de una serie de métricas sencillas de calcular.

#### 6.1.2.4 Planificación del involucramiento de los interesados

Para la planificación del involucramiento de los interesados, se ha utilizado el modelo de prominencia para clasificar a los stakeholders en función de su poder, legitimidad y urgencia esperada desde una perspectiva global, representado en la Figura 17. Mediante tormenta de ideas, se han ido identificando las posibles expectativas de cada uno de ellos en los objetivos del proyecto y se ha valorado su capacidad de poder e influencia otorgando un valor numérico entre el 1 y el 10 para cada categoría. Este análisis se incluye en la Tabla 9.

**Tabla 9:** Análisis de los interesados del proyecto y plan de involucramiento

STAKEHOLDERS	INQUIETUDES	CLASIFICACIÓN	PODER INTERÉS	ESTRATEGIAS DE GESTIÓN
<b>TRANSFERIDOR DE LA TECNOLOGÍA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conseguir involucrar al promotor en el proyecto.</li> <li>▪ Obtención de un beneficio por la transferencia tecnológica y su desarrollo en este proyecto.</li> <li>▪ Conseguir más financiación para futuras pruebas y desarrollos.</li> <li>▪ Convencer a los stakeholders del programa global de que el proyecto de I+D va por buen camino.</li> <li>▪ Encontrar los posibles fallos de la invención, y poder solventarlos.</li> <li>▪ Máximos resultados por la transferencia ya adaptación de la tecnología.</li> <li>▪ El estudio debe cumplir con todas las regulaciones.</li> </ul>	Definitivo	10 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contrato de exclusividad para la explotación industrial, mediante la cual, durante un tiempo estipulado por contrato, cualquier aplicación que pueda llegar a mercado con esa tecnología sólo sería explotada por el transferidor de la tecnología.</li> <li>▪ Optimizar la estrategia de comunicaciones con los stakeholders.</li> <li>▪ Establecer una estrategia por la cual la tecnología únicamente será utilizada por motivos terapéuticos.</li> <li>▪ Establecer por contrato que la empresa que transfiere la tecnología adaptará la misma para poder ser utilizada como una prótesis.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El estudio clínico debe ser viable.</li> <li>▪ Transparencia.</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cumplir con toda la documentación requerida: comités éticos, regulaciones, etc., antes de comenzar.</li> </ul>
<b>HOSPITAL ANFITRIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Participación activa en el ensayo, con poder para tomar decisiones de carácter clínico.</li> <li>▪ Seguridad para los pacientes, ensayo cumpliendo con criterios legales y éticos.</li> <li>▪ Promoción por participar en el desarrollo de una nueva prótesis.</li> <li>▪ Que la prótesis cumpla con los objetivos del proyecto y que las pruebas concluyan de manera satisfactoria para los pacientes</li> </ul>	Dominante	8	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisar los protocolos, para asegurar la seguridad de los participantes</li> <li>▪ Valorar que la prótesis y su funcionamiento.</li> <li>▪ Asegurar la revisión de los comités de ética y regulatorios.</li> <li>▪ Verificar la cualificación del equipo sanitario involucrado.</li> <li>▪ Establecer los canales de comunicación correctos con el personal del hospital que acogerá las pruebas.</li> </ul>
<b>ORGANISMOS REGULADORES/COMITÉS ÉTICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Garantizar que las pruebas en hospital cumplan con todos los criterios éticos, de manera que se garantice que las pruebas respetan la integridad y la dignidad de los voluntarios, y que las metodologías que se utilizan están supervisadas y controladas.</li> <li>▪ Que se generen documentos sobre consentimiento informado.</li> </ul>	Discrecionales	8	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Presentar toda la documentación necesaria para realizar el estudio piloto con suficiente antelación.</li> <li>▪ Información ordenada y entendible, evitar complicaciones y dudas.</li> <li>▪ Recopilar y comprender las regulaciones antes de arrancar el proyecto.</li> <li>▪ Responsabilidad en el tratamiento de los datos: contar con un analista en el</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Evitar que se produzcan conflictos de interés.             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Que la relación riesgo/beneficio sea adecuada.</li> </ul> </li> <li>▪ Honestidad y transparencia, en la selección de voluntarios y en el tratamiento de los datos.</li> </ul>		<p>equipo de proyecto para determinar cómo se van a generar y para el tratamiento de los datos.</p>
<p><b>VOLUNTARIOS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Garantía de calidad antes de comenzar el estudio.</li> <li>▪ Obtener toda la información relevante antes de decidir aceptar ser voluntarios.             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Selección justa de voluntarios, sin conflictos de interés.</li> </ul> </li> <li>▪ Poder participar en el ensayo sin sufrir ningún daño, teniendo en cuenta que es la primera vez que se realiza una prueba con esta tecnología.</li> <li>▪ Seguimiento médico en todo momento, por lo que pudiese pasar, antes y después del estudio.</li> <li>▪ Posibilidad de participar en futuros ensayos en caso de que las pruebas cumplan los objetivos de funcionamiento requeridos.</li> </ul>	<p>Dependientes 4 7</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contar con un equipo de sanitarios para la planificación de las pruebas, de las instalaciones, etc., y para los cuidados de los pacientes.</li> <li>▪ Incluir en el equipo de proyecto a, al menos, un miembro del equipo de investigación.</li> <li>▪ Garantizar que las pruebas se realizan con la máxima discreción, salvaguardando la intimidad de los pacientes voluntarios del estudio</li> <li>▪ Firma de un consentimiento informado previo al estudio.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posibilidad de retirarse del estudio si cambian de opinión o por motivos personales.</li> </ul>				
<b>OTROS HOSPITALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conocer cómo se desarrollan los ensayos, especialmente si tienen éxito.</li> <li>▪ Posibilidad de obtención de información relevante.</li> </ul>	Demandantes	3	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incluir en estrategias de comunicación.</li> <li>▪ Posibilidad de contar con la colaboración de otros hospitales relevantes para la planificación del proyecto.</li> </ul>
<b>FUNDACIONES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Que sus socios tengan la posibilidad de entrar en el estudio piloto.</li> <li>▪ Conocer el tipo de prótesis que se está desarrollando.</li> </ul>	Demandantes	5	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Repartir formularios en fundaciones interesadas en el proyecto para reclutar voluntarios.</li> <li>▪ Mandar trípticos/informes con información no confidencial sobre el diseño y funcionamiento de las prótesis.</li> <li>▪ Informar sobre los resultados no confidenciales de las pruebas.</li> </ul>
<b>EQUIPO DE PROYECTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cumplimiento de los objetivos del proyecto.</li> <li>▪ Protección y respeto de la seguridad, dignidad y derechos de los voluntarios.</li> <li>▪ Planificación del estudio con metodologías válidas, con significancia científica, de utilidad.</li> </ul>	Definitivos	9	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Planificación del estudio con metodologías válidas, con significancia científica, de utilidad.</li> <li>▪ Conclusión de las pruebas, generación de datos, documentación, grabación e informes siguiendo las regulaciones.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generación de datos de alta calidad y credibilidad teniendo en cuenta los objetivos del proyecto.</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utilización de estándares de ensayos clínicos para el proyecto.</li> </ul>
<b>OTROS INVESTIGADORES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utilizar el conocimiento que se genere en ese proyecto para sus propias investigaciones</li> <li>▪ El proyecto debe realizarse siguiendo los principios éticos.</li> </ul>	Dominantes	7	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distinguir entre conocimiento publicable y confidencial.</li> </ul>
<b>ORGANISMOS GUBERNAMENTALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interés en el desarrollo por ser el principal cliente de la empresa que transfiere la tecnología.</li> <li>▪ Acceso a la información generada a partir del proyecto.</li> <li>▪ Determinar el impacto que tenga el ensayo sobre la comunidad científica y los posibles usuarios finales.</li> <li>▪ Integridad en el ensayo.</li> </ul>	Peligrosos	6	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estrategia de información y comunicaciones del proyecto, incluyendo su impacto sobre la sociedad.</li> </ul>
<b>PERSONAL SANITARIO A CARGO DEL TRATAMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relevancia en su carrera profesional.</li> <li>▪ Contar con material y recursos necesarios y que no comprometan el desempeño normal del hospital.</li> </ul>	Peligrosos	8	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acopio de material sanitario suficiente, así como quirófanos, instalaciones de manera que no sature su actividad.</li> <li>▪ Posibilidad de contratación de un equipo externo sanitario</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cumplimiento de regulaciones</li> </ul>				<p>para no comprometer al hospital. Contar con la gerencia del hospital para esta decisión.</p>
<b>DIRECTOR DEL PROYECTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Culminar el trabajo del proyecto siguiendo con las restricciones de plazos, costes y calidad.</li> <li>▪ Buenas relaciones con la defensa, para colaborar en proyectos similares.</li> <li>▪ Elaboración de un contrato que sea beneficioso para ambas partes.</li> <li>▪ Sentar las bases para una metodología de gestión en proyectos de transferencia tecnológica desde la defensa.</li> </ul>	Definitivos	9	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Establecer estrategias de comunicación con los stakeholders para garantizar el éxito del proyecto.</li> <li>▪ Contar con un consultor con experiencia en las peculiaridades de los contratos de la defensa.</li> <li>▪ Delegar, dejar en manos de profesionales con experiencia los trabajos que se han de finalizar.</li> <li>▪ Registrar lo aprendido durante el desempeño del proyecto.</li> </ul>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comenzar una cartera de proyectos que permita realizar trabajos en el sector de la defensa, abarcando otros ámbitos.</li> </ul>	Dominantes	10	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Poner a disposición de la directora de proyectos de todos los recursos que puedan ser útiles para la gestión dentro de la defensa.</li> <li>▪ Proporcionar un asesor legal que contribuya a la firma de un contrato beneficioso para ambas partes.</li> </ul>

### 6.1.2.5 Definición y secuenciación de las actividades y estimación de la duración

El cronograma del proyecto se ha deducido tomando la EDT y el diccionario de la EDT para determinar las diversas acciones que se creen necesarias para cumplir con el trabajo establecido en cada paquete de trabajo. Posteriormente, se establecen las relaciones de precedencia entre las actividades, para poder realizar una secuencia. Finalmente, para cada actividad, se estima su duración. Debido a la falta de experiencia en proyectos de este tipo, se ha estimado tomando como referencia experiencias personales y consultando opiniones sobre la duración de actividades específicas. Además, se ha consultado bibliografía para poder estimar las actividades relacionadas con el estudio clínico (Graczyk et al., 2019). Se ha construido un diagrama de Gantt para tener una referencia visual del cronograma del proyecto. En dicho diagrama se pueden observar las relaciones de precedencia entre las actividades, así como el camino crítico del proyecto. La lista de actividades, junto a su duración se pueden consultar en la Tabla 10:

**Tabla 10:** Tabla de actividades y su duración en días

Nombre de tarea	Duración
<b>Estudio piloto</b>	<b>647 días</b>
<b>10. GESTIÓN</b>	<b>120 días</b>
Elaboración de los planes de gestión del proyecto	5 días
Redacción de un plan de análisis estadístico de los datos	10 días
Planificación de protocolos de seguridad de los ensayos	10 días
Elaboración del plan de monitorización específico del estudio piloto en hospital	10 días
Plan de gestión del proyecto	10 días
<b>20. TRANSFERENCIA DE LA TECNOLOGÍA</b>	<b>286 días</b>
Búsqueda y selección de la firma de defensa que pueda proporcionar los prototipos	90 días
Redacción del contrato	8 días
Modificaciones del contrato	5 días
<b>30. IMPLANTE</b>	<b>233 días</b>
Revisión de otros diseños de implantes similares	12 días
Diseño de los implantes	30 días
Búsqueda de proveedores y selección de proveedores	40 días
Compra y recepción de los materiales	21 días
Fabricación de los implantes nerviosos	60 días
Reparaciones en las prótesis	42 días
Integración del implante con la prótesis	30 días
<b>40. ESTUDIO PILOTO</b>	<b>589 días</b>
<b>40.10. PRE-ESTUDIO</b>	<b>510 días</b>
<b>40.10.10 Revisión bibliográfica</b>	<b>351 días</b>

Revisión normas Buenas Prácticas Clínicas	5 días
Revisión criterios éticos para realización de ensayos	12 días
Redacción de informe de viabilidad técnica del ensayo	5 días
<b>40.10.20. Diseño del estudio</b>	<b>159 días</b>
Recopilación de información relativa a ensayos similares	5 días
Diseño de las pruebas con prótesis implantada	15 días
Referenciar estudio a normas de Buenas Prácticas Clínicas	15 días
Formación del personal de las pruebas	2 días
<b>40.10.30. Aprobación del estudio</b>	<b>138 días</b>
Elaboración del protocolo de ensayos	10 días
Circulación del protocolo para aportaciones	5 días
Integración de cambios en protocolo	10 días
Protocolo de ensayos	6 días
Solicitud número EudraCT	30 días
Preparación dossier ensayos para aprobación CEIC	15 días
Revisión/aclaraciones CEIC	15 días
Preparación dossier para la AEMPS	15 días
Revisión y cambios en dossier para AEMPS	15 días
Respuestas de aclaraciones a CEIC/AEMPS	5 días
Revisión de la estructura y dotación tecnológica del centro de ensayos	2 días
Elaboración informe de idoneidad del centro	2 días
Visita al centro	1 día
Comprobación cualificación personal sanitario	2 días
Emisión de póliza de seguros	15 días
Envío y recepción de las prótesis en el hospital	8 días
<b>40.20. IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>124 días</b>
<b>40.20.10. Reclutamiento</b>	<b>38 días</b>
Redacción del procedimiento del consentimiento informado para pacientes	6 días
Elaboración de un dossier informativo para los participantes	1 día
Determinación de criterios de inclusión y exclusión de voluntarios	3 días
Anuncio y difusión del ensayo a potenciales voluntarios	10 días
Recepción de inscripciones de voluntarios	5 días
Selección de voluntarios	1 día
<b>40.20.20. Ejecución del estudio piloto</b>	<b>101 días</b>
Preparación de los participantes a la cirugía	5 días
Cirugías para inserción del implante nervioso	10 días
Fase 1: pruebas en entorno controlado	11 días
Fase 2: pruebas con prótesis completa con implante nervioso en el hogar	6 días

Fase 3: pruebas con prótesis completa con implante nervioso en el hogar (parte 2)	11 días
Recolección de datos	28 días
<b>50. CIERRE</b>	<b>196 días</b>
Especificación, desarrollo y validación del cuaderno de recogida de datos	3 días
Especificación, desarrollo y validación de la base de datos	5 días
Exportación de datos a la base de datos	1 día
Análisis estadístico e interpretación de los datos	3 días
<b>50.20 Diseminación</b>	<b>54 días</b>
Redacción de artículo científico con resultados	36 días
Redacción de artículo para prensa especializada	6 días
Elaboración de un póster con visualización de resultados	10 días
<b>50.30. Documentación final</b>	<b>20 días</b>
Redacción de la documentación de cierre del proyecto	20 días

### 6.1.2.6 Estimación de los recursos de las actividades

En este apartado se mostrará un posible organigrama de este proyecto, el equipo que se encargará de cumplir con el trabajo propuesto. La Figura 23 muestra el cargo de cada miembro del equipo y sus principales responsabilidades, las cuales se conectan con las actividades, como se puede ver en la Tabla 11, que es la matriz de asignación de responsabilidades:



Figura 22: Organigrama del proyecto



Figura 23: Equipo de proyecto, cargo y principales responsabilidades

Tabla 11: Matriz de roles y responsabilidades

Actividad	Directora de proyecto	Analista de datos	Investigadora principal	Ingeniero mecánico	Consultor legal	Consultor tecnológico
Elaboración de los planes de gestión del proyecto	A/R	I	I	S	S	S
Redacción de un plan de análisis estadístico de los datos	A	R	C	S	S	S
Planificación de protocolos de seguridad de los ensayos	A	C	R	S	C	S
Elaboración del plan de monitorización específico del estudio piloto en hospital	A	I	R	S	S	S
Plan de gestión del proyecto	A/R	I	I	S	S	S
Búsqueda y selección de la firma de defensa que pueda proporcionar los prototipos	A		C		C	R
Redacción del contrato	S		I		A/R	I
Modificaciones del contrato	S				A/C	R
Adaptación de la tecnología para ser utilizada como prótesis	A		C	R		C
Envío y recepción de las prótesis	I	I	I	A/R	I	I
Revisión de otros diseños de implantes similares	I		C	A		R
Diseño de los implantes	I			A/R		C
Búsqueda de proveedores y selección de proveedores	A		S	R	I	C
Compra y recepción de los materiales	A		S	R	I	C
Fabricación de los implantes nerviosos	I		S	A/R		C
Pruebas del implante en banco de pruebas	I		S	A/R		C
Reparaciones en las prótesis	I		S	A/R		C
Integración del implante con la prótesis	I		S	A/R		C
Revisión de documentación de ensayos similares	I		C	S		A/R
Revisión normas Buenas Prácticas Clínicas	I		C	S		A/R
Revisión criterios éticos para realización de ensayos	I		C	S		A/R
Redacción de informe de viabilidad técnica del ensayo	A	I	C	S	I	R
Recopilación de información relativa a ensayos similares	I		C			A/R
Diseño de las pruebas con prótesis implantada	I	C	A/R		I	I

Referenciar estudio a normas de Buenas Prácticas Clínicas	I		A		R	
Elaboración de plan de formación para el personal	I	I	C	I	I	A/R
Formación del personal de las pruebas	I	I	C	I	A/R	I
Elaboración del protocolo de ensayos	I	C	A			R
Circulación del protocolo para aportaciones	I	I	I			A/R
Integración de cambios en protocolo	I	C	A			R
Revisión de los cambios	I	C	A			R
Protocolo de ensayos	I	C	A			R
Solicitud número EudraCT	I	C	A			R
Preparación dossier ensayos para aprobación CEIC	I	C	A		C	R
Revisión/aclaraciones CEIC	I	C	A		C	R
Preparación dossier para la AEMPS	I	C	A			R
Revisión y cambios en dossier para AEMPS	I	C	A			R
Respuestas de aclaraciones a CEIC/AEMPS	I	C	A		C	R
Revisión de la estructura y dotación tecnológica del centro de ensayos	C	I	A/R	I	I	I
Elaboración informe de idoneidad del centro	I		A			R
Comprobación cualificación personal sanitario	I		A			R
Emisión de póliza de seguros	I		A		R	
Redacción del acuerdo de colaboración con el hospital	C				A	R
Revisión y cambios	I				A	R
Envío y recepción de las prótesis en el hospital	I		C	A/R		
Preparación de la sala de pruebas	I		A/R			
Preparación de los quirófanos	I		A/R			
Redacción del procedimiento del consentimiento informado para pacientes	I		A		C	R
Elaboración de un dossier informativo para los participantes	I		C			A/R
Determinación de criterios de inclusión y exclusión de voluntarios	I		A/R			
Anuncio y difusión del ensayo a potenciales voluntarios	I		C			A/R
Recepción de inscripciones de voluntarios	I		A/R			
Envío de hojas de información de pacientes y consentimientos informados	I					A/R
Selección de voluntarios	I		A/R		C	
Reunión con voluntarios	I		A/R		C	
Preparación de los participantes a la cirugía	I					
Cirugías para inserción del implante nervioso	I					
Recuperación de los pacientes de la cirugía	I					

Fase 1: pruebas en entorno controlado	I	C	A/R	S		
Fase 2: pruebas con prótesis completa con implante nervioso en el hogar	I	C	A/R	S		
Fase 3: pruebas con prótesis completa con implante nervioso en el hogar (parte 2)	I	C	A/R	S		
Recolección de datos	I	A/R	C			
Especificación, desarrollo y validación del cuaderno de recogida de datos	I	A/R	I			
Especificación, desarrollo y validación de la base de datos	I	A/R	I			
Depuración de los datos	I	A/R	I			
Exportación de datos a la base de datos	I	A/R	I			
Análisis estadístico e interpretación de los datos	I	A/R	I			
Redacción del informe de desarrollo de pruebas clínicas	I	A	C	C	C	R
Elaboración del informe de viabilidad técnica del proyecto	A	C	C	C	C	R
Redacción de artículo científico con resultados	I	C	A	C		R
Redacción de artículo para prensa especializada	I	C	A	C		R
Elaboración de un póster con visualización de resultados	I	C	A	C		R
Cambios y modificaciones	I	C	C	I	I	A/R
Redacción de la documentación de cierre del proyecto	A	I	C	C	C	R

### 6.1.2.7 Identificación y análisis cualitativo de los riesgos

Utilizando la EDT, el registro de stakeholders y el acta de constitución se ha podido elaborar un registro de riesgos que recoge parte de las incertidumbres que pueden afectar al proyecto. Se ha realizado un análisis cualitativo de los riesgos, valorando su probabilidad y su impacto y categorizándolos según la imagen que se muestra a continuación:

Matriz Probabilidad-Impacto			AMENAZAS					OPORTUNIDADES				
PROBABILIDAD	MA	0,90	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72	0,72	0,36	0,18	0,09	0,05
	A	0,70	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04
	MA	0,50	0,03	0,05	0,1	0,2	0,4	0,4	0,2	0,1	0,05	0,03
	B	0,30	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02
	MB	0,10	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01
			0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05
			MB	B	M	A	MA	MA	A	M	B	MB
			Impacto -					Impacto +				
			RIESGOS DE INTERÉS PRIORITARIO									
			RIESGOS IMPORTANTES									
			RIESGOS SECUNDARIOS									

Figura 24: Categorización de los riesgos del proyecto

Los números que aparecen en la Figura 24 sirven para categorizar los riesgos en función de su interés, para poder establecer estrategias de gestión de riesgos a aquellos más importantes en cada fase del proyecto.

CATEGORIZACIÓN DE RIESGOS		
CATEGORÍA	COLOR	RANGO
Riesgo Secundario	Verde	0 - 0,07
Riesgo Importante	Amarillo	0,08 - 0,23
Riesgo Prioritario	Rojo	0,23 - 1

Figura 25: Clasificación de los riesgos en función del producto individual de probabilidad e impacto

Tabla 12: Registro de riesgos y planificación de la respuesta

CAUSA	RIESGO	CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD (P)	IMPACTO (I)	PRODUCTO Pxi	RESPUESTA AL RIESGO
Debido al carácter de innovación de la prótesis	Es posible que los potenciales pacientes recelen	No consiguiendo la cantidad suficiente de voluntarios para el estudio	0,6	0,5	0,30	ACEPTAR: aceptar las limitaciones de un estudio piloto, cuya finalidad es comprobar la viabilidad técnica del producto
Debido al carácter de innovación de la prótesis	Puede ser que llame la atención de muchos pacientes	Se supere el número de pacientes necesarios, haciendo necesarios criterios de selección	0,6	0,8	0,48	EXPLOTAR: Establecer criterios de selección
Que debido a fallos en las prótesis // complicaciones en las intervenciones // post-operatorios	No se adapte la prótesis bien al paciente	Abandono del estudio	0,7	1	0,70	EVITAR: planificar el estudio piloto en el punto adecuado de la investigación, que cumpla ciertos criterios (métricas) antes de llevar a cabo el estudio
Causas personales de los pacientes	Pacientes tienen que abandonar el estudio	No se termine el estudio	0,5	0,5	0,25	MITIGAR: Reserva de voluntarios y de tiempo en el proyecto

Debido a causas externas que provoquen presión hospitalaria	No se disponga de personal sanitario empleado en el hospital suficiente para conducir el estudio	Retrasos en las implantaciones de las prótesis, recuperación y pruebas con la prótesis.	0,3	0,6	0,18	TRANSFERIR: negociar un acuerdo con el hospital que acoge las pruebas que incluya este punto
Mal uso de la prótesis	Accidentes con las prótesis	Daños en los voluntarios y necesidad de reemplazo de las prótesis	0,3	0,8	0,24	TRANSFERIR: contratar seguros
Tecnología aún no completamente desarrollada	No cumplan las funciones y propósitos para la que se diseñó. No se completen las pruebas diseñadas.	Fracaso del estudio piloto: reestructuración del programa de desarrollo de la prótesis	0,2	1	0,20	TRANSFERIR: incluir requisitos de adaptación en el contrato con la empresa que transfiere la tecnología.
Durante el transcurso del proyecto	Se descubran nuevos caminos o posibilidades de diseño o funciones de la prótesis, se descubran fallos reparables	Posibilidad de mejora y aprendizaje	0,7	0,3	0,21	EXPLOTAR: valorar las nuevas líneas de investigación para futuros proyectos
Desconocimiento general del funcionamiento de la prótesis y de cómo se adaptará a los pacientes	Se descubran debilidades en protocolos, etc	Mejora de los protocolos para futuros ensayos	0,6	0,8	0,48	EXPLOTAR: conseguir un estudio efectivo.
Mala planificación de la comunicación	No obtener comentarios u otro feedback del personal sanitario, voluntarios e incluso sus familias y de otros stakeholders	Que no se cumplan los objetivos del proyecto en términos de definición de protocolos de investigación para ensayos más grandes.	0,4	0,6	0,24	EVITAR: planificar bien las comunicaciones del proyecto. Es esencial definir un protocolo de investigación para el programa

Debido a una sobreestimación de la capacidad de la tecnología de la cual se parte	Fracaso en las pruebas	Se pondría en duda la viabilidad del proyecto, generando desconfianza en stakeholders y organismos financiadores	0,5	0,9	0,45	EVITAR: planificar el estudio en un buen momento del proceso de i+d, que la tecnología no esté infradesarrollada. Si estando en un punto de desarrollo adecuado para el ensayo y aun así las pruebas fracasaran, habría que replantear el programa
Puesto que es la primera prueba que se realiza con personal voluntario	Durante el transcurso de las pruebas surjan fallos de funcionamiento de la prótesis	No se pueda terminar el estudio o retrase. Pero, posibilidad de aprender de los errores, oportunidad de repararlos.	0,6	0,8	0,48	MITIGAR: tener reserva de material, tiempo y recursos para reemplazar las prótesis, supondrá sobrecostos y retrasos en el estudio
Mala planificación de recolección de datos del estudio y de la investigación	Pérdida de datos, mala calidad de los datos por cuestionarios mal planificados, “desconexión” entre investigación y estudio (e.g. que se planifiquen las pruebas del estudio para algo que no se ha investigado)	Estudio que no aporta nada al proyecto en cuanto a aprendizaje, mejora de la calidad de vida de los pacientes, solución de errores del proyecto, etc.	0,4	0,7	0,28	EVITAR: a partir de la planificación adecuada de las comunicaciones y del estudio estadístico del proyecto.
Se diseñe un estudio piloto intenso	Que pare al equipo de investigación de otras funciones	Se retrase o exista otros impactos en el programa principal, y que finalmente ponga impedimentos en el desarrollo de este estudio	0,2	0,3	0,06	EVITAR: planificar los recursos que se comparten con otros proyectos. Ser realista con el estudio piloto: no sobrediseñarlo

A partir de los resultados del proyecto,	Que proporcione información de calidad	Que permita financiación sustanciosa para conducir un estudio más grande. Posibilidad de publicación de resultados.	0,8	0,8	0,64	MEJORAR: diseñar el estudio en función de los objetivos del proyecto. Atraer a posibles inversores realizando demostraciones de la tecnología.
Falta de comprensión de los objetivos de los stakeholders	Confusión del propósito del estudio piloto, abarcando un mayor alcance del que debiera	Estudio piloto más que favorecer ponga obstáculos a la realización de un estudio de mayor escala, sobre todo si se pueden publicar los resultados del estudio piloto.	0,3	0,5	0,15	EVITAR: un estudio piloto no es un ensayo a gran escala, tener bien claro, buena gestión de stakeholders y comunicaciones. Tener claro el proceso de i+d y el punto en el que está. Recabar información del proceso de i+d
Sesgos en el tratamiento de datos	Se sobreestimen o subestimen los resultados del estudio	Impacto negativo en el proceso de investigación y desarrollo propuesto en el programa	0,2	0,4	0,08	Contar con un analista de datos / estadista. Tener en cuenta que este estudio no sirve para significancia estadística, pero es importante si hay publicaciones o informes que los datos sean objetivos.
Que debido a problemas inesperados en la planificación del proyecto	Se sobreestimen o subestimen los resultados del estudio	ocurran sobrecostes y retrasos en las pruebas	0,3	0,7	0,21	EVITAR: contar con el personal sanitario y de gestión del hospital para el diseño del estudio

Que debido a problemas inesperados en la planificación del proyecto	Desvíos en el cumplimiento del protocolo por parte del paciente, personal sanitario o investigador	provoquen impacto en la salud de los pacientes	0,35	0,7	0,25	EVITAR: Redacción de un protocolo de ensayos con referencias a normas de Buenas Prácticas Clínicas.
Debido a la opinión popular	se cree una opinión errónea acerca del proyecto, de manera que se lo relacione con la hermeticidad de la defensa en ciertas actividades de ética dudosa y la creación de armas	impidiendo el proyecto, no encontrando voluntarios y deteriorando la reputación de la compañía.	0,4	0,6	0,24	MITIGAR: Formar parte de un proceso de licitación pública de manera que sean diversas empresas las que muestren interés en el desarrollo de prótesis
Debido a las particularidades de los procesos de adquisición de la defensa	existan conflictos de interés que, por ejemplo, afecten a la selección justa de voluntarios que reciban el tratamiento	Alejando el proyecto de sus objetivos de transparencia y principios éticos	0,3	0,5	0,15	EVITAR: Encontrar la manera en la que quien presta la tecnología y quien ejecuta el proyecto se beneficie de los resultados, por ejemplo, desarrollando un plan de negocio para la comercialización de las prótesis, o generando patentes.
A partir de los resultados del proyecto, del que se espera un estudio de viabilidad positivo	otras empresas se beneficien del conocimiento generado a su favor	Contribuyendo al desarrollo de productos orientados al combate	0,5	0,6	0,30	EVITAR: proteger la tecnología que se desarrolle en este proyecto, por ejemplo, con una patente de la que se beneficie también la organización que transfiere la tecnología.

## CONCLUSIONES

Gracias al proceso de documentación para este Trabajo de Fin de Máster se ha reunido ciertos conocimientos útiles para comprender el funcionamiento de la industria militar y el mercado de la defensa actual. Dicho sector es un sector estratégico, pues de su capacidad tecnológica depende en buena parte la defensa y seguridad de una nación. En el caso de España, los productos y servicios que el Estado (Ministerio de Defensa y Fuerzas Armadas) requieren también se alimentan de otros sectores económicos civiles. El sector militar invirtió durante el siglo XX enormes cantidades de recursos para la fabricación de sistemas de armas y otros productos y servicios para aumentar su capacidad militar. Este avance tecnológico produjo derrames de conocimiento y tecnología al ámbito civil, que continuó con sus propias investigaciones y desarrollos. Hoy, es el sector militar quien requiere de los avances, más genéricos y adaptables, de la industria civil. No obstante, debido a la elevada especificidad de los productos de defensa, las barreras de entrada al sector industrial militar son elevadas por lo que el número de proveedores sea relativamente bajo y los costes de desarrollo cada vez más altos. No obstante, en España, el acceso al mercado de la defensa se realiza a través de licitaciones públicas, por lo que aquellas organizaciones con capacidad industrial suficiente pueden acceder a él.

Por otra parte, la producción militar es costosa, debido a varios factores: el ansia por la innovación característica de la defensa y al efecto de “hold-up” tecnológico debido a la especialización de sus productos lo que eleva sus costes de oportunidad. La posibilidad de diversificar su producción, es decir, invirtiendo en productos de doble-uso, puede ser una oportunidad para la defensa para obtener recursos financieros con los que continuar su actividad, pues sus gastos han ido disminuyendo debido en gran parte a una menor percepción de amenazas. La transferencia tecnológica es un punto importante dentro de las políticas sobre el doble-uso ya que posibilita que una tecnología se mueva entre distintas aplicaciones, por lo que un desarrollo militar podría ser beneficioso para toda la sociedad. Debido a ello, el sector cada vez es menos opaco y se beneficia cada vez más de la industria civil. Es por ello que parece razonable que se creen nuevos sistemas de gestión que integren los requerimientos de ambos ámbitos para que la culminación de los proyectos relacionados con el doble uso sea satisfactoria para ambas partes.

Se ha seleccionado un tipo de proyecto centrado en el desarrollo de una tecnología particularmente cuestionable dentro de su aplicación militar, el mejoramiento humano. Este tipo de desarrollos mejorarían las capacidades de combatientes muy por encima de la media, mientras que también tendrían fines terapéuticos si los procesos de I+D tuvieran eso último como fin. Conociendo cómo funciona el mercado de la defensa, sus barreras de entrada, los procesos de contratación y adquisiciones se puede crear un marco para la planificación de la gestión del proyecto, incluyendo la transferencia tecnológica. La guía PMBOK desarrollada por el PMI puede ser una metodología útil, sino la única para poder realizar esta planificación, pues los procesos que propone junto con las herramientas que describe para ejecutarlos son útiles para la mayor parte de los proyectos. El trabajo necesario queda representado en el nivel superior de la EDT, la cual se puede consultar en

la Figura 19. En el apartado 6.1.2.1.2 se continúa con la definición del trabajo, útil para la planificación del cronograma y de la estimación de los costes del proyecto.

Este trabajo sólo ha incluido algunos procesos de planificación que se han considerado más relevantes para este ejemplo, pero otros pueden requerir de otros procesos. Para este ejercicio el PMBok ha resultado suficiente ya que permite planificar todo el trabajo. Asimismo, únicamente se ha planteado una metodología basada en procesos, y no se han tratado las competencias necesarias, como plantearían las metodologías de IPMA. Tampoco se han planteado las metodologías ágiles, que sin duda resultarían útiles para una parte del proyecto, el desarrollo del implante, pues mediante las metodologías ágiles se obtienen desarrollos útiles y funcionales a cada iteración. Puesto que la defensa busca la innovación, considerar este tipo de metodologías podría ser interesante para la defensa, si se quisiera profundizar sobre la gestión.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Acosta, M., Coronado, D., Ferrandiz, E., Marin, M. R., & Moreno, P. J. (2018). Patents and Dual-use Technology: An Empirical Study of the World's Largest Defence Companies. *Defence and Peace Economics*, 29(7), 821–839. <https://doi.org/10.1080/10242694.2017.1303239>
- Autio, E., & Laamanen, T. (1995). Measurement and evaluation of technology transfer: review of technology transfer mechanisms and indicators. *International Journal of Technology Management*, 10(7/8), 643–664.
- Avadikyan, A., Cohendet, P., & Dupouët, O. (2005). A study of military innovation diffusion based on two case studies. *Innovation Policy in a Knowledge-Based Economy: Theory and Practice*, 161–189. [https://doi.org/10.1007/3-540-26452-3\\_7](https://doi.org/10.1007/3-540-26452-3_7)
- Bennett, F. (2010). The seven deadly risks of defence projects. *Security Challenges*, 6(3), 97–111.
- Berkowitz, B. (2008). *The New Face of War: How War Will Be Fought in the 21st Century* (F. Press (ed.)).
- Coeckelbergh, M. (2011). From killer machines to doctrines and swarms, or why ethics of military robotics is not (necessarily) about robots. *Philosophy and Technology*, 24(3), 269–278. <https://doi.org/10.1007/s13347-011-0019-6>
- Cowan, R., & Foray, D. (1995). Quandaries in the economics of dual technologies and spillovers from military to civilian research and development. *Research Policy*, 24(6), 851–868. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0048-7333\(94\)00802-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0048-7333(94)00802-7)
- Davies, D. (1994). Defence research: dual use or dual use technology? *Engineering Management Journal*, 231–242.
- de Armiño, K. P. (2015). *Estudios de seguridad: de la visión tradicional a los enfoques críticos*.
- Dirección General de Armamento y Material. (2019). *La industria de Defensa en España. Informe-2019*.
- Dombrowski, P., & Gholz, E. (2009). Identifying Disruptive Innovation: Innovation Theory and the Defense Industry. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 4(2), 101–117. <https://doi.org/10.1162/itgg.2009.4.2.101>
- Ehni, H. J. (2008). Dual use and the ethical responsibility of scientists. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 56(3), 147–152. <https://doi.org/10.1007/s00005-008-0020-7>
- Forge, J. (2010). A note on the definition of “dual use.” *Science and Engineering Ethics*, 16(1), 111–118. <https://doi.org/10.1007/s11948-009-9159-9>
- Gallart, J. M. (2008). *El Vínculo Entre Innovación Militar Y Civil : Hacia Un the Link Between*

*Civil and Military Innovation : Towards a New Framework*. 2, 73–87.

Galtung, J. (1978). *Development, environment and technology: towards a technology for self-reliance*.

Graczyk, E. L., Gill, A., Tyler, D. J., & Resnik, L. J. (2019). The benefits of sensation on the experience of a hand: A qualitative case series. *PLoS ONE*, 14(1), 1–29. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211469>

Grissom, A. (2006). The future of military innovation studies. In *Journal of Strategic Studies* (Vol. 29, Issue 5). <https://doi.org/10.1080/01402390600901067>

Guilmartin, J. F. (2020). *Military technology*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/military-technology>

Horowitz, M. C., & Scharre, P. (2021). *Center for a New American Security Report Part Title : Military Uses of AI : A Risk to International Stability?*

J. Kupec, C. (2013). Training Needs for Project Management Professionals in the Defense Industry. *Journal of Defense Studies & Resource Management*, 02(02). <https://doi.org/10.4172/2324-9315.1000111>

James, A. D. (2016). Emerging Technologies and Military Capability. *Emerging Critical Technologies and Security in the Asia-Pacific*, 6–21. [https://doi.org/10.1057/9781137461285\\_2](https://doi.org/10.1057/9781137461285_2)

Kantayyaa, S. (2021). *Coded Bias*.

Leske, A. D. C. (2018). A review on defense innovation: From spin-off to spin-in. *Brazilian Journal of Political Economy*, 38(2), 377–391. <https://doi.org/10.1590/0101-31572018v38n02a09>

Lin, P. (2010). Ethical blowback from emerging technologies. *Journal of Military Ethics*, 9(4), 313–331. <https://doi.org/10.1080/15027570.2010.536401>

Markowski, Stefan; Hall, Peter; Wylie, R. (2009). *Defence Procurement and Industry Policy A small country perspective* (Primera Ed). Routledge.

Martí Sempere, C. (2013). La industria de defensa: principales características y eficiencia de un sector estratégico. *Economía Industrial*, 388, 169–182.

Martí Sempere, C. (2018). What Is Known About Defence Research And Development Spillovers? *Defence and Peace Economics*, 29(3), 225–246. <https://doi.org/10.1080/10242694.2016.1239364>

Mehlman, M., Lin, P., & Abney, K. (2013). Enhanced Warfighters: Risk, Ethics, and Policy. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2202982>

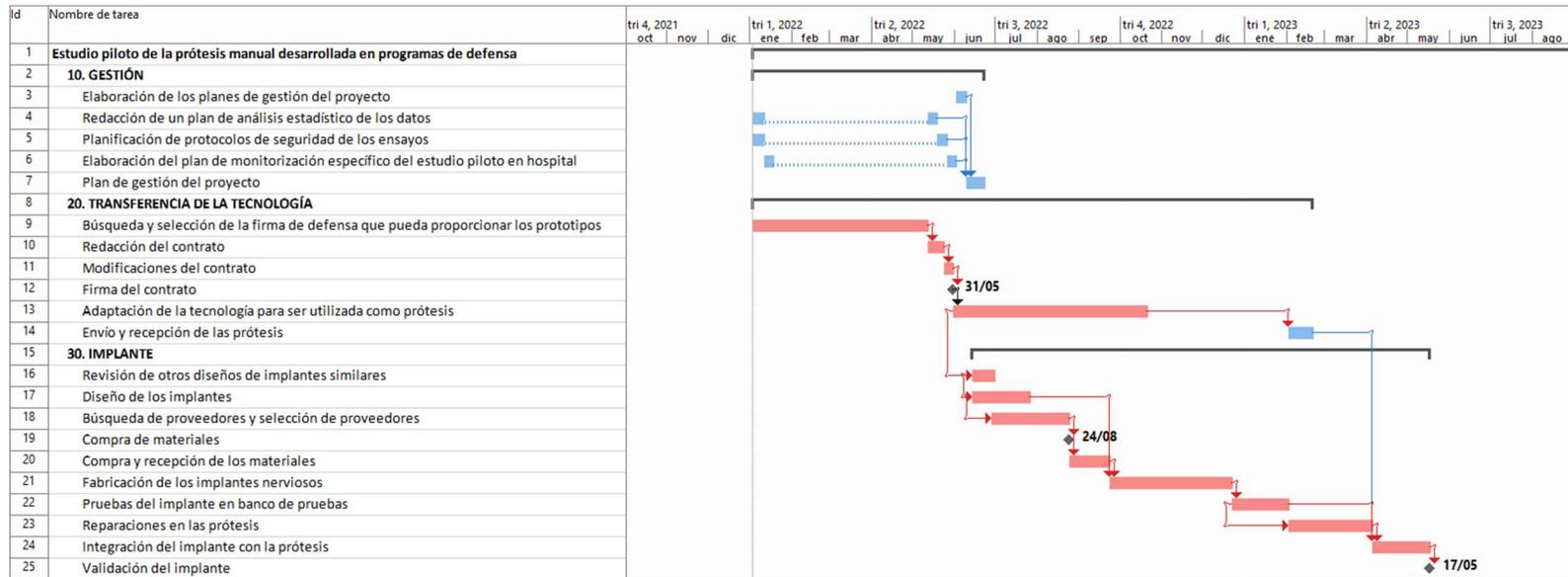
Ministerio de Defensa. (2018). *El sector industrial de defensa en España 2010 - 2016*.

- <https://doi.org/10.38170/1993-000-005-009>
- Molas-Gallart, J. (1997). Which way to go? Defence technology and the diversity of “dual-use” technology transfer. *Research Policy*, 26(3), 367–385. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(97\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(97)00023-1)
- Perani, G. (1997). *Military technologies and commercial applications: Public policies in NATO countries*.
- Pfaff, C. A. (2020). The ethics of acquiring disruptive military technologies. *Texas National Security Review*, 3(1), 34–61.
- Pustovit, S. V., & Williams, E. D. (2010). Philosophical aspects of dual use technologies. *Science and Engineering Ethics*, 16(1), 17–31. <https://doi.org/10.1007/s11948-008-9086-1>
- Rogerson, W. P. (1994). Economic Incentives and the Defense Procurement Process. *Journal of Economic Perspectives*, 8(4), 65–90. <https://doi.org/10.1257/jep.8.4.65>
- Rogerson, W. P. (1995). Incentive models of the defense procurement process. In K. Hartley & T. Sandler (Eds.), *Handbook of Defense Economics* (1st ed., Vol. 1, pp. 309–346). Elsevier. <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:hdechp:1-12>
- Roulston, J. F. (2007). Project Management in the Defense Industry. *The Wiley Guide to Managing Projects*, 1329–1349. <https://doi.org/10.1002/9780470172391.ch53>
- Rychnovská, D. (2016). Governing dual-use knowledge: From the politics of responsible science to the ethicalization of security. *Security Dialogue*, 47(4), 310–328. <https://doi.org/10.1177/0967010616658848>
- Sandler, T., & Hartley, K. (2007). *Handbook of Defense Economics: Defense in a Globalized World: 2* (N. Holand (ed.)).
- Sayler, K. M. (2020). Artificial Intelligence and National Security – Economic Impacts and Considerations. *Congressional Research Service, June 2020*, 1–43.
- Selgelid, M. J. (2010). Ethics Engagement of the Dual-Use Dilemma: Progress and Potential. *Education and Ethics in the Life Sciences: Strengthening the Prohibition of Biological Weapons*. <https://doi.org/10.22459/eels.06.2010.02>
- Singer, P. W. (2014). The five deadly flaws of talking about emerging military technologies and the need for new approaches to law, ethics, and war. *Drone Wars: Transforming Conflict, Law, and Policy*, 215–229. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139198325.016>
- Stowsky, J. (2004). Secrets to shield or share? New dilemmas for military R&D policy in the digital age. *Research Policy*, 33(2), 257–269. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2003.07.002>



## ANEXO

En este anexo se incluye el diagrama de Gantt del proyecto propuesto en este TFM, para poder visualizar las relaciones de precedencia entre las actividades y el camino crítico del proyecto. La Tabla 13 recoge la programación de las actividades con fechas de inicio y fin, duración y precedencias con actividades. Esta programación se ha hecho utilizando MS Project 2019.





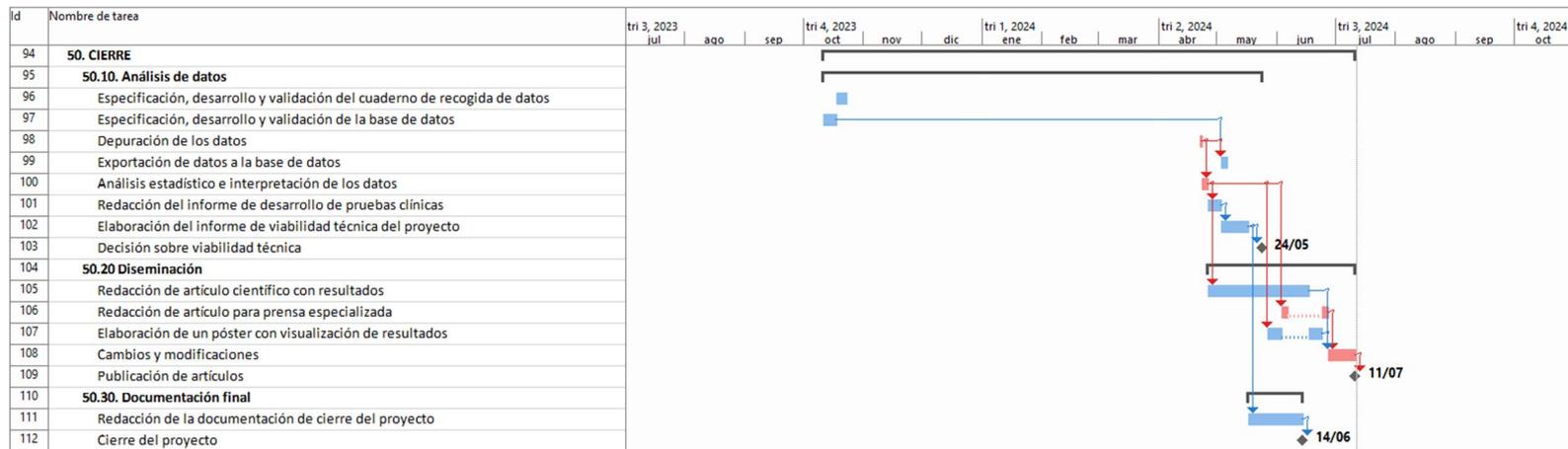
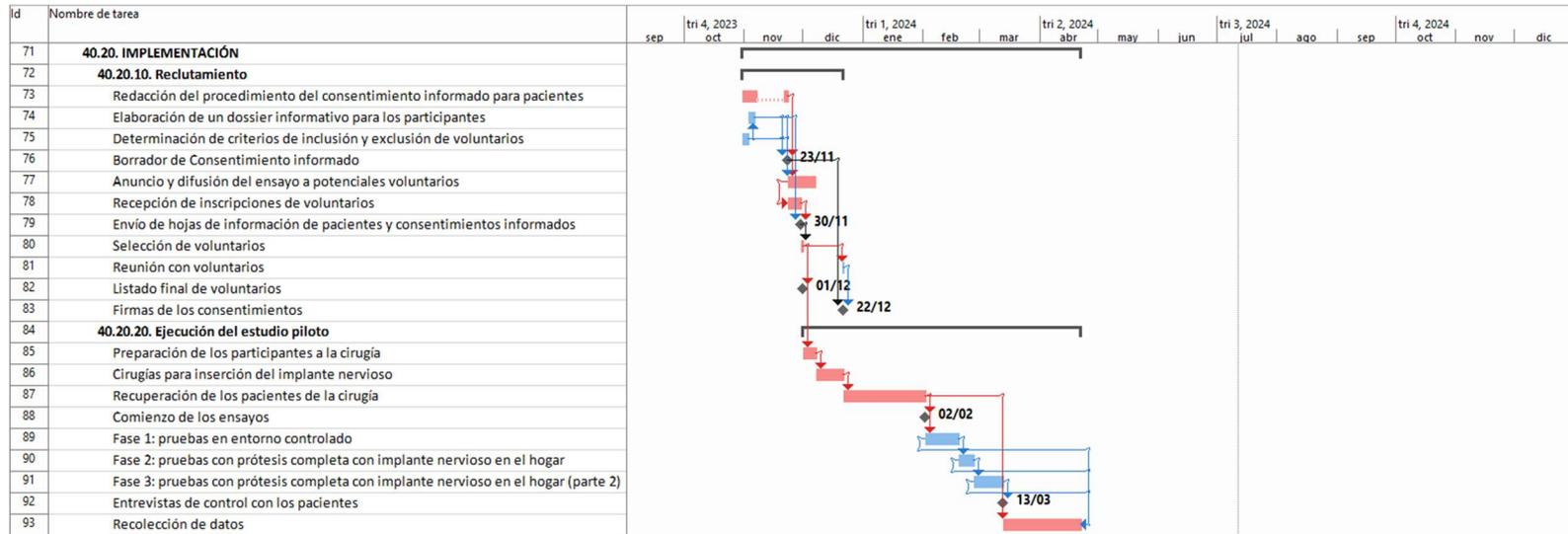


Tabla 13: Programación de actividades y relaciones de precedencia.

ID	Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Estudio piloto de la prótesis manual desarrollada en programas de defensa	lun 03/01/22	jue 11/07/2 4	
2	10. GESTIÓN	lun 03/01/22	jue 23/06/2 2	
3	Elaboración de los planes de gestión del proyecto	jue 02/06/22	jue 09/06/2 2	
4	Redacción de un plan de análisis estadístico de los datos	lun 03/01/22	jue 19/05/2 2	
5	Planificación de protocolos de seguridad de los ensayos	lun 03/01/22	jue 26/05/2 2	
6	Elaboración del plan de monitorización específico del estudio piloto en hospital	mar 11/01/22	jue 02/06/2 2	
7	Plan de gestión del proyecto	jue 09/06/22	jue 23/06/2 2	3;4;5;6
8	20. TRANSFERENCIA DE LA TECNOLOGÍA	lun 03/01/22	lun 20/02/2 3	
9	Búsqueda y selección de la firma de defensa que pueda proporcionar los prototipos	lun 03/01/22	jue 12/05/2 2	
10	Redacción del contrato	jue 12/05/22	mar 24/05/2 2	9
11	Modificaciones del contrato	mar 24/05/22	mar 31/05/2 2	10
12	Firma del contrato	mar 31/05/22	mar 31/05/2 2	11
13	Adaptación de la tecnología para ser utilizada como prótesis	mar 31/05/22	vie 21/10/2 2	12
14	Envío y recepción de las prótesis	jue 02/02/23	lun 20/02/2 3	13

15	30. IMPLANTE	mar 14/06/22	mié 17/05/23	
16	Revisión de otros diseños de implantes similares	mar 14/06/22	jue 30/06/22	13CC+10 días
17	Diseño de los implantes	mar 14/06/22	mar 26/07/22	16CC
18	Búsqueda de proveedores y selección de proveedores	mar 28/06/22	mié 24/08/22	17CC+10 días
19	Compra de materiales	mié 24/08/22	mié 24/08/22	18
20	Compra y recepción de los materiales	mié 24/08/22	vie 23/09/22	18
21	Fabricación de los implantes nerviosos	vie 23/09/22	jue 22/12/22	17;20
22	Pruebas del implante en banco de pruebas	jue 22/12/22	jue 02/02/23	21
23	Reparaciones en las prótesis	jue 02/02/23	mié 05/04/23	22CC+10 días
24	Integración del implante con la prótesis	mié 05/04/23	mié 17/05/23	22;23;14
25	Validación del implante	mié 17/05/23	mié 17/05/23	24
26	40. ESTUDIO PILOTO	lun 03/01/22	lun 22/04/24	
27	40.10. PRE-ESTUDIO	lun 03/01/22	mar 02/01/24	
28	40.10.10 Revisión bibliográfica	lun 03/01/22	mié 24/05/23	
29	Revisión de documentación de ensayos similares	jue 12/05/22	jue 02/06/22	

30	Revisión normas Buenas Prácticas Clínicas	lun 03/01/22	mar 11/01/22	
31	Revisión criterios éticos para realización de ensayos	mar 07/06/22	jue 23/06/22	29FF;30FF
32	Redacción de informe de viabilidad técnica del ensayo	mié 17/05/23	mié 24/05/23	29;30;31;24
33	Decisión sobre viabilidad del estudio	mié 24/05/23	mié 24/05/23	32
34	40.10.20. Diseño del estudio	lun 11/04/22	mar 02/01/22	
35	Recopilación de información relativa a ensayos similares	mié 24/05/23	mié 31/05/23	32
36	Diseño de las pruebas con prótesis implantada	mié 31/05/23	mié 21/06/23	35CC+5 días
37	Referenciar estudio a normas de Buenas Prácticas Clínicas	lun 11/04/22	mié 21/06/23	36FF
38	Elaboración de plan de formación para el personal	mié 11/10/23	vie 29/12/23	36
39	Publicación del programa de pruebas	mié 21/06/23	mié 21/06/23	37
40	Formación del personal de las pruebas	vie 29/12/23	mar 02/01/22	38
41	40.10.30. Aprobación del estudio	mié 21/06/23	lun 01/01/22	
42	Elaboración del protocolo de ensayos	mié 21/06/23	mié 05/07/23	7;32;37
43	Circulación del protocolo para aportaciones	mié 05/07/23	mié 12/07/23	42
44	Integración de cambios en protocolo	mié 12/07/23	mié 26/07/23	43

110 ESTUDIO PILOTO DE LA PRÓTESIS MANUAL DESARROLLADA EN PROGRAMAS DE DEFENSA

45	Revisión de los cambios	mié 26/07/23	mié 02/08/23	44
46	Protocolo de ensayos	vie 08/12/23	mar 19/12/23	45
47	Autorización del protocolo	mié 02/08/23	mié 02/08/23	45
48	Solicitud número EudraCT	mar 17/10/23	lun 01/01/24	47
49	Preparación dossier ensayos para aprobación CEIC	mié 02/08/23	mié 23/08/23	32;47
50	Revisión/aclaraciones CEIC	mié 23/08/23	mié 13/09/23	49
51	Preparación dossier para la AEMPS	mié 02/08/23	mié 23/08/23	32;47
52	Revisión y cambios en dossier para AEMPS	mié 13/09/23	mié 04/10/23	51
53	Presentación de la solicitud a CEIC	mié 13/09/23	mié 13/09/23	50
54	Presentación de la solicitud a AEMPS	mié 04/10/23	mié 04/10/23	52
55	Respuestas de aclaraciones a CEIC/AEMPS	mié 04/10/23	mié 11/10/23	50;52
56	Autorización de los ensayos	mié 11/10/23	mié 11/10/23	55
57	Notificación fecha de inicio de ensayos a AEMPS y CEIC	mié 11/10/23	mié 11/10/23	56
58	40.10.40. Centro participante	mié 11/10/23	mar 02/01/24	
59	Revisión de la estructura y dotación tecnológica del centro de ensayos	mié 11/10/23	vie 13/10/23	32;56

60	Elaboración informe de idoneidad del centro	vie 13/10/23	mar 17/10/23	59
61	Visita al centro	mar 17/10/23	mié 18/10/23	60
62	Comprobación cualificación personal sanitario	mié 20/12/23	mar 02/01/24	59
63	Emisión de póliza de seguros	jue 02/11/23	jue 23/11/23	66;56
64	Redacción del acuerdo de colaboración con el hospital	mar 17/10/23	mar 31/10/23	56;60
65	Revisión y cambios	mar 14/11/23	jue 14/12/23	64
66	Firma de contrato	mar 31/10/23	mar 31/10/23	64
67	Envío y recepción de las prótesis en el hospital	mar 31/10/23	vie 10/11/23	66
68	Preparación de la sala de pruebas	mar 31/10/23	lun 13/11/23	66
69	Preparación de los quirófanos	mar 31/10/23	jue 09/11/23	66
70	Instalaciones del hospital preparadas	lun 13/11/23	lun 13/11/23	68;69
71	40.20. IMPLEMENTACIÓN	mar 31/10/23	lun 22/04/24	
72	40.20.10. Reclutamiento	mar 31/10/23	vie 22/12/23	
73	Redacción del procedimiento del consentimiento informado para pacientes	mar 31/10/23	jue 23/11/23	66
74	Elaboración de un dossier informativo para los participantes	vie 03/11/23	lun 06/11/23	66;75

112 ESTUDIO PILOTO DE LA PRÓTESIS MANUAL DESARROLLADA EN PROGRAMAS DE DEFENSA

75	Determinación de criterios de inclusión y exclusión de voluntarios	mar 31/10/23	vie 03/11/23	66
76	Borrador de Consentimiento informado	jue 23/11/23	jue 23/11/23	73;74;75
77	Anuncio y difusión del ensayo a potenciales voluntarios	jue 23/11/23	jue 07/12/23	74;73;75
78	Recepción de inscripciones de voluntarios	jue 23/11/23	jue 30/11/23	77CC
79	Envío de hojas de información de pacientes y consentimientos informados	jue 30/11/23	jue 30/11/23	78;74
80	Selección de voluntarios	jue 30/11/23	vie 01/12/23	79
81	Reunión con voluntarios	jue 21/12/23	vie 22/12/23	80
82	Listado final de voluntarios	vie 01/12/23	vie 01/12/23	80
83	Firmas de los consentimientos	vie 22/12/23	vie 22/12/23	81;76
84	40.20.20. Ejecución del estudio piloto	vie 01/12/23	lun 22/04/24	
85	Preparación de los participantes a la cirugía	vie 01/12/23	vie 08/12/23	80;69
86	Cirugías para inserción del implante nervioso	vie 08/12/23	vie 22/12/23	85
87	Recuperación de los pacientes de la cirugía	vie 22/12/23	vie 02/02/24	86
88	Comienzo de los ensayos	vie 02/02/24	vie 02/02/24	87
89	Fase 1: pruebas en entorno controlado	vie 02/02/24	lun 19/02/24	87

90	Fase 2: pruebas con prótesis completa con implante nervioso en el hogar	lun 19/02/24	mar 27/02/24	89
91	Fase 3: pruebas con prótesis completa con implante nervioso en el hogar (parte 2)	mar 27/02/24	mié 13/03/24	90
92	Entrevistas de control con los pacientes	mié 13/03/24	mié 13/03/24	91
93	Recolección de datos	mié 13/03/24	lun 22/04/24	89CF;90CF; 91CF;87
94	50. CIERRE	mié 11/10/23	jue 11/07/24	
95	50.10. Análisis de datos	mié 11/10/23	vie 24/05/24	
96	Especificación, desarrollo y validación del cuaderno de recogida de datos	mié 18/10/23	lun 23/10/23	56
97	Especificación, desarrollo y validación de la base de datos	mié 11/10/23	mié 18/10/23	56
98	Depuración de los datos	lun 22/04/24	mar 23/04/24	93
99	Exportación de datos a la base de datos	vie 03/05/24	lun 06/05/24	98;97
100	Análisis estadístico e interpretación de los datos	mar 23/04/24	vie 26/04/24	98;93
101	Redacción del informe de desarrollo de pruebas clínicas	vie 26/04/24	vie 03/05/24	100;93
102	Elaboración del informe de viabilidad técnica del proyecto	vie 03/05/24	vie 17/05/24	101
103	Decisión sobre viabilidad técnica	vie 24/05/24	vie 24/05/24	102FC+5 días
104	50.20 Diseminación	vie 26/04/24	jue 11/07/24	

114 ESTUDIO PILOTO DE LA PRÓTESIS MANUAL DESARROLLADA EN PROGRAMAS DE DEFENSA

105	Redacción de artículo científico con resultados	vie 26/04/24	lun 17/06/24	100
106	Redacción de artículo para prensa especializada	lun 03/06/24	jue 27/06/24	100
107	Elaboración de un póster con visualización de resultados	lun 27/05/24	lun 24/06/24	100
108	Cambios y modificaciones	jue 27/06/24	jue 11/07/24	105;106;107
109	Publicación de artículos	jue 11/07/24	jue 11/07/24	108
110	50.30. Documentación final	vie 17/05/24	vie 14/06/24	
111	Redacción de la documentación de cierre del proyecto	vie 17/05/24	vie 14/06/24	102
112	Cierre del proyecto	vie 14/06/24	vie 14/06/24	111

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación de las aplicaciones militares (a la izquierda) frente a las tecnologías militares que las sustentan (a la derecha)	5
Figura 2:. Fachada de la Fábrica de Armas de Palencia	10
Figura 3: Principales empresas del sector de la defensa en España por ventas. Fuente: La industria de defensa en España. Informe-2019. Elaboración propia	11
Figura 4: Ventas de defensa por sector. Fuente: Ministerio de Defensa. Las ventas incluyen las ventas directas e indirectas al Ministerio de Defensa, a través de subcontrataciones o como ventas internacionales de defensa, realizadas por empresas del sector de la defensa.	12
Figura 5: Imagen del submarino S-81	13
Figura 6: Resumen de elementos considerados como doble uso	16
Figura 7: Cuestiones que deben resolverse al enfrentarse a una investigación de potencial doble uso	17
Figura 8: Resumen de los sectores civiles que utilizan tecnología militar	20
Figura 9: Resumen de los diversos mecanismos para la transferencia de tecnologías de doble-uso	25
Figura 10. Gráfico que relaciona el nivel de desarrollo tecnológico (TRL) con las fases de desarrollo, con el rendimiento de la tecnología en el eje Y y el tiempo en el eje X	31
Figura 11: Actividades propias de la defensa	45
Figura 12: Ejemplo de exoesqueleto militar, del Ministerio de Defensa de Rusia	47
Figura 13: El gráfico muestra las categorías de proyectos que trabajan en el área militar del mejoramiento humano	48
Figura 14: La defensa trabaja en el desarrollo de prótesis como forma de terapia para combatientes que han perdido extremidades en el desempeño de sus funciones, como parte de robots o exoesqueletos que confieren fuerza	49
Figura 15. Retos a la hora de integrar la IA	54
Figura 16. Mapa de interesados en función de su poder e interés en el proyecto	61
Figura 17: Modelo de prominencia de Mitchell	62
Figura 18: Fases del estudio piloto	65
Figura 19: Estructura de desglose de trabajo	67
Figura 20: Distribución de costes en el nivel más alto de la EDT	76
Figura 21: Línea base de costes del proyecto	77
Figura 22: Organigrama del proyecto	86
Figura 23: Equipo de proyecto, cargo y principales responsabilidades	87
Figura 24: Categorización de los riesgos del proyecto	91
Figura 25: Clasificación de los riesgos en función del producto individual de probabilidad e impacto	91



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ejemplos de productos/tecnologías de doble uso. En este apartado se han añadido los productos más ejemplificadores y llamativos, pero existen productos a nivel de componentes que están considerados como doble uso.....	21
Tabla 2. Algunos ejemplos de proyectos fallidos. Algunos fueron llamativos, como el avión F-35, pero de muchos no se tendría conocimiento si no fuese por la transparencia de algunas oficinas de Defensa.....	35
Tabla 3 Algunos de los programas actuales que se ejecutan desde el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.....	50
Tabla 4: Aplicaciones de la inteligencia artificial en el sector militar .....	53
Tabla 5: Ejemplo de una posible acta de constitución del proyecto .....	58
Tabla 6: Enunciado del alcance del proyecto.....	62
Tabla 7: Estimación del coste de los recursos del proyecto .....	74
Tabla 8: Costes de los paquetes de trabajo del proyecto.....	75
Tabla 9: Análisis de los interesados del proyecto y plan de involucramiento.....	78
Tabla 10: Tabla de actividades y su duración en días.....	84
Tabla 11: Matriz de roles y responsabilidades.....	88
Tabla 12: Registro de riesgos y planificación de la respuesta.....	92
Tabla 13: Programación de actividades y relaciones de precedencia. ....	107