

# ATDTEM

Aplicación de la tecnología Digital Twin en entornos militares



**Jorge Morillo Osuna**

Trabajo Fin de Máster  
Sistemas de Comunicación

**Tutor/a de TF**

Víctor Monzón Baeza

**Profesor/a responsable de  
la asignatura**

Carlos Monzo Sánchez

17/01/2024

© Jorge Morillo Osuna

Reservados todos los derechos. Está prohibido la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la impresión, la reprografía, el microfilme, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 España de Creative Commons

## Ficha del Trabajo Final

<b>Título del trabajo:</b>	Aplicación de la tecnología DT en entornos militares
<b>Nombre del autor/a:</b>	Jorge Morillo Osuna
<b>Nombre del Tutor/a de TF:</b>	Víctor Monzón Baeza
<b>Nombre del/de la PRA:</b>	Carlos Monzo Sánchez
<b>Fecha de entrega:</b>	01/2024
<b>Titulación o programa:</b>	Máster universitario en Ingeniería de Telecomunicación
<b>Área del Trabajo Final:</b>	Sistemas de Comunicación
<b>Idioma del trabajo:</b>	Castellano
<b>Palabras clave</b>	DT, tecnología, entorno militar, investigación, datos, virtualización
<b>Resumen del Trabajo</b>	
<p>En este proyecto se va a intentar estudiar la posibilidad de aplicar una tecnología, aún no muy desarrollada, llamada <i>Digital Twin (en adelante DT)</i>, para representar modelos reales de entornos militares en un entorno virtual.</p> <p>Dicha tecnología se ha aplicado en muchos campos, pero aún de una forma muy teórica, sólo en algunos casos se ha desarrollado en modelos reales.</p> <p>En este proyecto se realizará una investigación profunda sobre los casos ya existentes y se intentará realizar algunas hipótesis de aplicación de la tecnología DT en entornos militares.</p> <p>Dentro de los objetivos o metas de esta investigación, podemos encontrar algunos como analizar la necesidad de la aplicación de esta tecnología en entornos militares, buscar información existente sobre la tecnología DT, analizar dicha información, intentar relacionar los avances existentes con el tema a trabajar o realizar posibles hipótesis, entre otros.</p> <p>La principal motivación del proyecto es la carencia de estudio de esta tecnología o similar en el entorno militar, entorno que necesita de este tipo de investigación, tanto para el ahorro de medios materiales, como el ahorro de medios humanos.</p> <p>Por otra parte, al ser un entorno donde existe un peligro claro cuando hablamos de situaciones reales, es muy deseable la realización de ejercicios, experimentos o pruebas virtuales con el fin de minimizar ese riesgo, sobre todo para las vidas humanas, que no tienen precio definido.</p> <p>Con los resultados obtenidos en la investigación se consigue aportar valor a los estudios ya existentes, aunque no sean en entornos militares y a la misma vez abrir el camino en este campo aún no muy desarrollado.</p>	

**Abstract**

In this project we are going to try to study the possibility to adapt a non-very developed technology in order to build a virtual military environment from real ones. This technology, called Digital Twins (DT from now on), has been applied in many fields around the world. However due to implementation difficulties, more often than not, it has been a theoretical concept, only in some cases it has become a reality.

An in-depth research will be carried out into the existing cases with a view to build hypotheses regarding the application of DT technology in military environments.

Some of the goals of this research are, analyze the need for this application of this technology in military environments, search for existing data about DT technology, analyze this data, try to link developments with this research or realize possible hypotheses.

The main motivation for this project is the lack of studies about this technology in military environment, due to this fact there are many savings to be made in material and human resources.

On the other hand, it is very much to be hoped that exercises, maneuvers or virtual test, could reduce risks, especially when we talk about human lives.

With the results obtained in the research, we add value to existing studies, even if they are not in military environments. At the same time pave the way in this still not very developed field.

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
1.1	Contexto y justificación del Trabajo .....	7
1.2	Objetivos del Trabajo.....	7
1.3	Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad .....	7
1.4	Enfoque y método seguido .....	8
1.5	Planificación del trabajo.....	9
1.6	Breve resumen de productos obtenidos .....	9
1.7	Breve descripción de otros capítulos de la memoria.....	10
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>11</b>
2.1	Origen de la tecnología DT .....	11
2.2	En que consiste la tecnología DT.....	12
2.3	Aplicaciones generales de DT hasta el presente .....	14
2.4	Aplicaciones específicas en entornos militares de DT .....	18
2.5	Ventajas e inconvenientes de la tecnología DT .....	19
<b>3</b>	<b>PREPARACIÓN DE DT.....</b>	<b>21</b>
3.1	Criterios.....	22
3.2	Elementos .....	26
3.3	Sensores .....	28
3.4	Fases .....	30
<b>4</b>	<b>CASOS DE USO .....</b>	<b>32</b>
4.1	Reproducción del campo de batalla.....	32
4.1.1	Criterios.....	33
4.1.2	Modificaciones .....	34
4.2	Búsqueda y Rescate (SAR).....	35

4.2.1	Criterios.....	36
4.2.2	Modificaciones.....	37
<b>4.3</b>	<b>Prácticas y entrenamientos.....</b>	<b>37</b>
4.3.1	Criterios.....	39
4.3.2	Modificaciones.....	40
<b>4.4</b>	<b>Misiones de Paz.....</b>	<b>41</b>
4.4.1	Criterios.....	43
4.4.2	Modificaciones.....	44
<b>4.5</b>	<b>SONAR.....</b>	<b>45</b>
4.5.1	Criterios.....	46
4.5.2	Modificaciones.....	47
<b>4.6</b>	<b>Brigadas Aerotransportadas.....</b>	<b>48</b>
4.6.1	Criterios.....	48
4.6.2	Modificaciones.....	49
<b>4.7</b>	<b>Drones ISR.....</b>	<b>50</b>
4.7.1	Criterios.....	52
4.7.2	Modificaciones.....	53
<b>4.8</b>	<b>Extinción de incendios forestales.....</b>	<b>53</b>
4.8.1	Criterios.....	55
4.8.2	Modificaciones.....	56
<b>4.9</b>	<b>Estudio viabilidad.....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>GLOSARIO.....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>



# Lista de Figuras

FIGURA 1. DIAGRAMA DE GANTT.....	9
FIGURA 2. ESQUEMA VIDA ÚTIL DE UN PRODUCTO DE GRIEVES .....	12
FIGURA 3. SISTEMA DT .....	21
FIGURA 4. DIAGRAMA DE CASOS DE USO .....	22
FIGURA 5. SISTEMA CENTRAL .....	26
FIGURA 6. FASES DEL DT .....	30
FIGURA 7. FLUJO DATOS BIDIRECCIONAL .....	33
FIGURA 8. MODIFICACIONES “CAMPO DE BATALLA” .....	34
FIGURA 9. RESCATE MARÍTIMO .....	36
FIGURA 10. MODIFICACIONES “SALVAMENTO Y RESCATE” .....	37
FIGURA 11. PRÁCTICAS DE TIRO.....	39
FIGURA 12. MODIFICACIONES “PRÁCTICAS Y ENTRENAMIENTO” .....	41
FIGURA 13. OBSERVACIÓN FRONTERA.....	43
FIGURA 14. MODIFICACIONES “MISIONES DE PAZ” .....	44
FIGURA 16. MODIFICACIONES “SONAR” .....	47
FIGURA 17. BRIGADAS AEROTRANSPORTADAS.....	48
FIGURA 18. MODIFICACIÓN “BRIGADAS AEROTRANSPORTADAS” .....	50
FIGURA 20. MODIFICACIONES “DRONES ISR”.....	53

<b>FIGURA 21. CANADAIR CL-215 .....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 22. EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES.....</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 23. MODIFICACIONES “EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES” .....</b>	<b>56</b>

# Lista de Tablas

TABLA 1. APLICACIONES DT .....	18
TABLA 2. ENTIDAD HUMANO.....	24
TABLA 3. ENTIDAD VEHÍCULO .....	24
TABLA 4. ENTIDAD ARMAMENTO .....	25
TABLA 5. ACCIÓN HUMANA.....	25
TABLA 6. TIEMPO DE RESPUESTA.....	25
TABLA 7. SENSORES .....	29
TABLA 8. SENSORES EN VEHÍCULOS .....	29
TABLA 9. SENSORES EN ARMAMENTO .....	30
TABLA 10. CASOS DE USO .....	32
TABLA 11. EQUIPO TÉCNICO CASO 1 .....	34
TABLA 12. EQUIPO TÉCNICO CASO 2 .....	37
TABLA 13. EQUIPO TÉCNICO CASO 3 .....	40
TABLA 14. EQUIPO TÉCNICO CASO 4 .....	44
TABLA 15. EQUIPO TÉCNICO CASO 5 .....	47
TABLA 16. EQUIPO TÉCNICO CASO 6 .....	49
TABLA 17. EQUIPO TÉCNICO CASO 7 .....	52

<b>TABLA 18. EQUIPO TÉCNICO CASO 8 .....</b>	<b>56</b>
<b>TABLA 19. PUNTUACIÓN CASOS .....</b>	<b>57</b>
<b>TABLA 20. RELACIÓN ESFUERZO/IMPORTANCIA .....</b>	<b>57</b>
<b>TABLA 21. RELACIÓN COSTE TOTAL/IMPORTANCIA .....</b>	<b>58</b>

# 1 Introducción

## 1.1 Contexto y justificación del Trabajo

El tema elegido viene determinado por el interés del autor en la tecnología, en este caso, por el interés en una tecnología muy novedosa a la vez que desconocida en muchos aspectos.

La tecnología DT, aunque nació a principios del siglo XXI, aún está en fase de desarrollo, tan solo se ha probado en algunos campos, aunque aún no está bien definida, tanto a modo de protocolos como estándar.

En concreto existe poca información en entornos militares, lo que ha llevado al autor a investigar sobre ello.

En dichos entornos, los gastos para realizar pruebas de diferentes tipos, ya sea armamento o ejercicios son muy altos, por ello sería muy conveniente para los diferentes ejércitos de poseer un modelo donde se pueda realizar estos ejercicios o pruebas de una manera virtual, sin tener que desprenderse de productos de stock como puede ser munición o evitar traslado de efectivos a zonas de maniobras.

El presupuesto de Defensa de un país es bastante alto por las necesidades constantes de modernización y efectivos [2].

Para reducir gastos en el contexto militar y por consiguiente en la unidad nacional, es necesario adaptarse a la tecnología actual y futura.

Por todos estos motivos se ha creído conveniente la realización de esta investigación, donde se espera reunir información de lo existente a la vez que proponer posibles soluciones.

## 1.2 Objetivos del Trabajo

A partir de la motivación expuesta en el punto anterior, surgen los siguientes objetivos:

- Estudiar la tecnología DT existente en los diferentes entornos.
- Investigar diferentes artículos científicos o de diferentes autores del uso de la tecnología DT haciendo hincapié en las diferentes hipótesis propuestas.
- Plantear posibles soluciones en la aplicación de DT en entornos militares.
- Relacionar soluciones de artículos ya existentes con el tema a investigar.
- Justificar la necesidad de la aplicación DT en entornos militares.
- Analizar las ventajas de DT en entornos militares.

Con este trabajo se quiere extender los casos de uso analizados en [40][41][42][43][52], siendo más aplicado y con un desarrollo mayor, mayor foco en digital twin.

## 1.3 Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad

El estudio e investigación de la tecnología DT en entornos militares tiene una meta principal general a nivel mundial que es mitigar el desgaste que se produce en nuestro planeta por

las diferentes pruebas o ensayos como por ejemplo puede ser las diferentes maniobras que los ejércitos llevan en ciertos escenarios o ensayos de armamento que desgastan algunos paisajes.

Esta declaración tiene un gran impacto en sostenibilidad, pues se intenta cubrir las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, evitando dañar la naturaleza que tanto está sufriendo en los últimos años y que está en peligro reduciendo la calidad de vida para los hijos del mañana.

En el aspecto ético-social se puede decir que esta investigación y los posibles avances en este entorno tiene un impacto real sobre los diferentes grupos interesados que en principio pueden ser grupos de diferente índole o de diferentes naciones.

Se pretende que el avance de la investigación de DT en entornos militares llegue a todos los grupos u organizaciones existentes y que haya un objetivo común dentro de esas organizaciones, no haciendo distinción de componentes dentro de las mismas, lo que deja claro indirectamente el impacto en la diversidad.

Echando un vistazo a la agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS) [28] se puede citar varios de esos objetivos que directa o indirectamente pueden verse relacionados con la investigación de este Trabajo Fin de Master. Para Smart Cities fueron estudiados en [38] de forma general. El objetivo número 9. Industria, Innovación e Infraestructuras está directamente relacionado, ya que en esta investigación se busca innovar sobre un sector de la industria como puede ser el entorno militar. Se quiere conseguir transformar algo que en principio es muy abstracto o irreal, como puede ser un mundo paralelo o virtual en algo que, aún siendo virtual, ayuda al mundo real a predecir el futuro. En cuanto a los objetivos que se pueden ver indirectamente relacionados están los objetivos 11 al 17.

Estos objetivos son los siguientes:

- 11. Cualidades y comunidades sostenibles.
- 12. Producción y consumo responsables.
- 13. Acción por el clima.
- 14. Vida submarina.
- 15. Vida de ecosistemas terrestres.
- 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.
- 17. Alianzas para lograr los objetivos.

De la misma manera que existe una identidad de concienciación de ahorro energético cada vez más fuerte, también se persigue el cuidado del medio ambiente y la consecución de la paz mundial, objetivos globales de todos los países y colaboración conjunta para aunar fuerzas en el seguimiento de las tecnologías haciendo de este mundo virtual una realidad.

## 1.4 Enfoque y método seguido

Dentro de los diferentes enfoques y métodos posibles se elige en este proyecto una metodología de investigación, donde se va a analizar los diferentes estudios o artículos científicos en posibles entornos diversos para buscar posibles soluciones o aportar información a la hora de extrapolarlo a entornos militares.

Para ello empezaremos analizando la información que existe actualmente sobre la tecnología DT, se sacarán aspectos comunes dentro de los distintos entornos investigados y se pondrá unas posibles soluciones en el entorno estudiado.

## 1.5 Planificación del trabajo

El proyecto se divide en diferentes entregas, donde se marcan unas fechas dentro de las cuales se debe desarrollar las PEC que a continuación se detallan en el Diagrama de Gantt.

- PEC1. Se desarrolla desde el 27/09/2023 al 09/10/2023 con una duración de 12 días y se explicará los aspectos iniciales del proyecto.
- PEC2. Se desarrolla desde el 10/10/2023 al 25/10/2023 con una duración de 15 días y se explicará el estado del arte principalmente.
- PEC3. Se desarrolla desde el 26/10/2023 al 17/12/2023 con una duración de 52 días. Es aquí donde se desarrollará el grueso del TFM, explicando el diseño e implementación del mismo.
- PEC4. Se desarrolla desde el 18/12/2023 al 08/01/2024 con una duración de 21 días. Esta PEC consiste en la entrega de la memoria del TFM en el campus virtual de la UOC.
- PEC5. Se desarrolla desde el 09/01/2024 al 17/01/2024 con una duración de 8 días. Esta actividad consiste en la entrega de la presentación del TFM y posteriormente la defensa del mismo ante el tribunal.

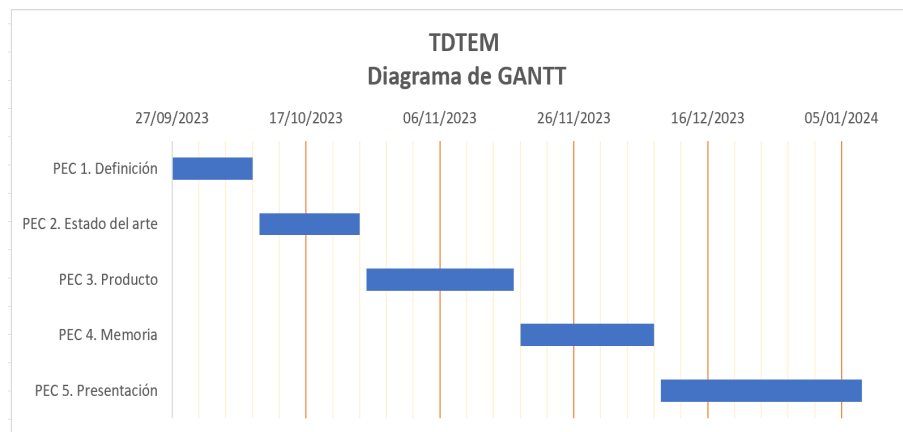


Figura 1. Diagrama de Gantt

## 1.6 Breve resumen de productos obtenidos

Con esta investigación, se ha desarrollado una serie de casos teóricos, los cuales se pueden modificar para conseguir otros muchos, para trabajar situaciones reales en escenarios virtuales, de manera que se pueda tener un seguimiento en tiempo real, así como poder prever situaciones futuras debido a la información almacenada recibida de los diferentes sensores.

## 1.7 Breve descripción de otros capítulos de la memoria

A continuación, se va a describir los diferentes capítulos que aparecen en la memoria.

- En el capítulo 1 se puede ver la introducción del trabajo, donde se plasman la justificación, los objetivos, la planificación y otros datos donde se puede tener una idea general de lo que se intenta conseguir con este proyecto.
- En el capítulo 2 se encuentra el estudio del arte, donde se explica en que consiste la tecnología DT, se plasman los avances conseguidos hasta el momento en la tecnología DT de manera general, los avances específicos en entornos militares y las ventajas e inconvenientes de dicha tecnología.
- En el capítulo 3, llamado "Preparación del DT" se pueden ver los criterios elegidos tanto para definir como evaluar los casos planteados, así como los elementos técnicos utilizados, con especial interés en los sensores, elemento fundamental en esta tecnología. Se incluye un subapartado con las fases que forman el DT.
- En el capítulo 4 se muestran los casos de uso elegidos y desarrollados intentando mostrar de una manera clara con esquemas e imágenes junto con las posibles modificaciones.
- En el capítulo 5 se pueden ver las conclusiones, donde se han discutido los pros y los contras de esta aplicación.
- En el capítulo 6 está el glosario con los términos y acrónimos que aparecen en la memoria.
- En el capítulo 7 encontramos la Bibliografía con las referencias utilizadas.



## 2 Estado del arte

En este capítulo se va a describir el estado del arte referido al mundo de la tecnología Digital Twin (DT), término que se refiere a una copia virtual de una entidad física. Esta entidad puede ser un objeto físico, un proceso o un sistema, que a su vez se puede dividir en diferentes entidades. Por una parte se explicará el origen de la tecnología, en que consiste y se investigará sobre los avances de la tecnología DT hasta el momento.

### 2.1 Origen de la tecnología DT

Nos tenemos que remontar a 1970 para comprobar la utilidad de tener una copia virtual o sistemas espejo, como le solía llamar la NASA, de objetos físicos.

En este caso se trató de encontrar una solución a un problema que ocurrió durante la misión del Apolo 13 [1], cuando dos días después del lanzamiento, uno de los tanques de oxígeno explotó. El equipo de la NASA simuló un entorno equivalente al de la nave, y gracias a ello, los ingenieros probaron diferentes soluciones. Los ingenieros enseñaron a los astronautas cómo solventar el problema. Seguidamente los ingenieros siguieron realizando simulaciones tanto en Houston como en el Centro Espacial Kennedy para probar procedimientos para que la tripulación regresara con vida a la Tierra.

Aunque este caso no es considerado como un modelo DT, por la dificultad que tiene unir el modelo físico del virtual o digital, si se considera uno de los precursores de esta tecnología.

El concepto DT se remonta a una presentación por parte del Dr. Michael Grieves, actual director ejecutivo de DT Institute, en la Universidad de Michigan [2].

Grieves introdujo este concepto públicamente para hablar del modelo de Gestión del ciclo de vida de un producto, PLM por sus siglas en inglés (Product Lifecycle management). Aunque se le ha intentado cambiar varias veces de nombre, como podría ser virtual twin, modelo espejo, etc., sigue manteniendo el concepto de Gemelo digital.

Desde que apareció el concepto en 2002, la idea sigue siendo la misma, la creación de un sistema virtual, gemelo de un sistema físico, que lo acompaña durante todo su ciclo de vida. [3]

Posteriormente, el Departamento de Defensa de Estados Unidos introdujo el concepto DT en cuestiones como el mantenimiento de la salud de las naves espaciales.

Michael Grieves define gemelo digital (DT) como: es un conjunto de construcciones de información virtual que describe completamente un producto físico fabricado potencial o real desde el nivel microatómico hasta el nivel macrogeométrico. En su forma óptima, cualquier información que pueda obtenerse al inspeccionar un producto fabricado físicamente se puede obtener de su gemelo digital.

## 2.2 En que consiste la tecnología DT

La premisa de este modelo es que cada sistema consta de dos, sistema físico y sistema virtual, que contiene toda la información del sistema físico. Este sistema virtual o gemelo le acompaña durante todo su ciclo de vida. La figura 2, sacada de [2] muestra el esquema del uso de DT en la vida útil de un producto (PLM por sus siglas en inglés) creado por Grieves en 2002. El modelo de Grieves pensado para monitorear de forma efectiva la vida útil de un producto consideraba que un sistema real y uno virtual deberían estar conectados durante las cuatro fases típicas de la producción: desarrollo, manufactura, operación y desecho, lo que bautizó como Modelo de Espejo de Información.

### Conceptual Ideal for PLM

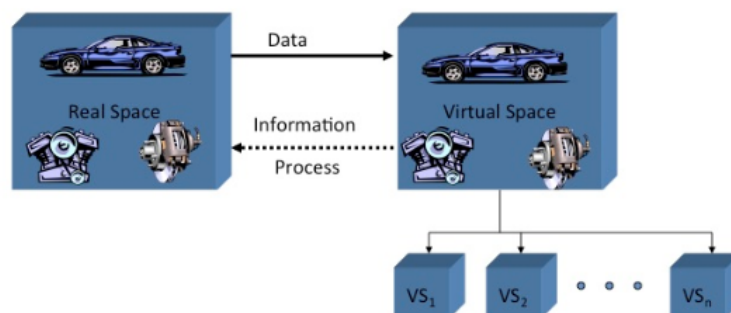


Figura 2. Esquema vida útil de un producto de Grieves

El Dr. Michael Grieves, define DT como un conjunto de estructuras de información virtual que describen de manera integral la producción potencial o los productos fabricados reales desde el nivel microatómico hasta el nivel macrogeométrico para productos complejos [2]. La información obtenida por el producto también se puede obtener de su gemelo digital. Un concepto de DT requiere al menos cuatro elementos: modelo digital, datos vinculados, identificación y capacidades de monitoreo en tiempo real. La construcción del gemelo digital se basa en los modelos físicos y funcionales generados en la fase de diseño, y en las posteriores fases de fabricación y uso, a través de la interacción de datos e información con entidades físicas.

En el artículo [4], los autores nos explican en qué consiste y las fases que tiene la creación de un modelo DT. La composición de datos del gemelo digital del producto incluye principalmente datos de diseño de producto, datos de proceso de producto, datos de fabricación de producto, datos de servicio de producto y datos de retiro y desecho de producto. La composición de datos específica de cada parte es la siguiente:

1. Datos de diseño del producto, incluido el modelo de diseño del producto, la lista de materiales del diseño del producto, los documentos de diseño del producto, etc.
2. Datos de diseño del proceso, incluido el modelo del proceso, la lista de materiales del proceso, la información del documento del proceso (como la tarjeta del proceso, los

- requisitos de inspección/medición, las tarjetas clave de control de calidad del proceso, las tablas de coincidencia de materiales), etc.
3. Datos de fabricación del producto, incluida la lista de materiales de fabricación, datos de calidad, datos de estado técnico, datos de logística, datos de inspección, datos de progreso de producción, datos de proceso inverso, etc.
  4. Datos de servicio del producto, incluidos datos de uso del producto, datos de mantenimiento del producto, datos de actualización del producto, datos de monitoreo del proceso de uso del producto, datos de análisis y predicción del estado del producto, etc.
  5. Datos de desperdicio o reciclaje de productos, incluidos datos de desperdicio de productos, datos de reciclaje de productos, etc. Cabe señalar que el gemelo digital del producto no es un modelo estático, sino un modelo de proceso y un modelo dinámico, que continuará evolucionando a medida que los datos se generen.

En cuanto a las funciones de la tecnología DT podemos hacer una clasificación que explicaremos a continuación. Las funciones serían las siguientes: Simular, monitorear, diagnosticar, predecir y controlar el proceso de formación y el comportamiento de los productos en el entorno real.

- Simular: Simular consiste en trabajar con el gemelo virtual en diferentes entornos de servicio cambiando la configuración de los parámetros del entorno virtual; si ponemos el ejemplo de un escenario en el campo de batalla, se podría cambiar los parámetros del ejercicio real, del terreno, de los efectivos, de posibles emboscadas, para simular el impacto de diferentes parámetros de la maniobra en la tasa de éxito de la misión, la salud de las diferentes entidades empleadas y la vida útil de vehículos u otros productos, etc.; También se puede utilizar para simular y verificar la efectividad de diferentes estrategias de mitigación de fallas, degradación y daños para mejorar la salud y la vida útil del producto.
- Monitorear y diagnosticar: El gemelo digital de cada entidad puede realizar el monitoreo visual dinámico en tiempo real del proceso de fabricación/servicio del producto físico y realizar el diagnóstico de fallas y la ubicación de fallas del producto físico en función de los datos de monitoreo medidos y los datos históricos obtenidos. Es una constante evaluación del entorno real gracias al entorno virtual.
- Predecir: Se pueden predecir los posibles defectos de diseño del producto, defectos funcionales y defectos de rendimiento. Ante estos defectos, se puede realizar la modificación de los parámetros correspondientes en el gemelo digital del producto, y en base a ello, volver a simular el proceso de fabricación, funcionamiento y prueba de rendimiento del producto hasta solucionar el problema.
- Control: En este aspecto, se realiza un control de la calidad del producto y el progreso de la producción. Los datos del servicio en tiempo real se analizan para realizar el control del estado y comportamiento del sistema físico.

## 2.3 Aplicaciones generales de DT hasta el presente

Aunque como se ha dicho en el apartado 2.1 que el termino DT apareció en 2002, no es hasta mediados de la segunda década del siglo XXI cuando se empieza a investigar a fondo, de hecho, es en el año 2016 cuando se escriben gran cantidad de artículos relacionados con el tema.

En 2011, la tecnología DT fue propuesta y desarrollada por el Laboratorio de Investigación de la Fuerza Aérea de EE. UU., con el propósito de resolver el problema del mantenimiento de aeronaves y la predicción de vida en el complejo entorno de servicio futuro.

De esta gran variedad de artículos se escogerán los más interesantes o atractivos para el futuro de esta tecnología.

Vamos a realizar una clasificación por campos de estudio de algunos de las investigaciones existentes de la tecnología DT:

### **Industria y software**

En el campo de la industria se han hecho varias investigaciones referentes a esta nueva tecnología.

Estas investigaciones han hecho que al aplicar DT a los procesos industriales, se reduzcan costes tanto por la posibilidad de simular el trabajo de producción como para crear nuevos procesos. En el artículo [5], el autor explica cómo se ha aplicado DT en un entorno de simulación 3D.

La ejecución de las instrucciones se agiliza y debido a unos sensores establecidos, los robots aprenden rutas de movimientos más cortas, con lo que agiliza y mejora los tiempos en las acciones.

Toda la información necesaria para planificar estos procesos se maneja en un entorno simulado, lo que llamaríamos el gemelo digital.

Por otra parte, vemos en el artículo [6] la idea de cómo aplicar la DT a procesos industriales donde existen redes distribuidas, de manera que se pueda simular dichas redes en el entorno digital, el cual es más flexible que el entorno físico.

Al tener un gemelo digital, se puede simplificar la interacción entre los dispositivos, cuando se encuentran en redes distribuidas, ya que se agilizarían los procesos de tráfico de paquetes, pues se utilizaría una red más sencilla donde los flujos de tráfico están mejorados.

En esta misma línea, el autor señala que se optimiza la comunicación entre nodos a través del control dinámico de la red por el estudio en el entorno virtual, maximizando de esta manera el QoS.

En el artículo [7], el autor propone el uso de DT para conseguir eficacia en los procesos de fabricación.

Este trabajo propone la solución preliminar de gestión de equipos, diseña la arquitectura de una plataforma basada en la nube para la gestión de equipos de fabricación Inteligente, diseña las funciones de Gestión de Equipos con DT, Gestión de Personal, Gestión de Repuestos, Gestión Inteligente, Gestión de Distribución y Ubicación, que pueda satisfacer los nuevos requisitos de la gestión de equipos de fabricación Inteligente.

### **Salud**

El campo de la salud es de los más importantes para investigar, pues la tecnología puede salvar muchas vidas si se usa de la manera adecuada.

Con el proceso de pandemia de COVID-19, la importancia de la salud humana y los servicios de salud ha aumentado. Sumado a esto, ha salido a la palestra para lograr que la vida laboral sea sostenible a distancia y digitalmente.

Tras la investigación realizada sobre DT, se han encontrado varios artículos de estudio de este tema.

En el siguiente artículo [8] se habla de que otro trabajo en el campo de la salud es crear gemelos virtuales de soldados del Ejército de Estados Unidos y de la Universidad de Nevada. Se crearán gemelos digitales de soldados utilizando diversas técnicas de imagen, como la resonancia magnética. Así, se ha informado que se pueden producir órganos mediante el método de impresión 3D utilizando modelos en DT en caso de alguna lesión. Este artículo [9] puede ser de ayuda para nuestra investigación, ya que, en nuestro caso, existen escenarios donde tenemos efectivos humanos con sensores, para recoger datos vitales.

Aunque la tecnología DT entró en nuestras vidas en los campos de la producción y la ingeniería inicialmente con la Industria 4.0, y también se ha demostrado con estudios que pueden evaluarse como revolucionarios en el campo de la salud. En el campo de la salud, se han tomado medidas serias para crear gemelos digitales de pacientes, así como gemelos digitales de dispositivos médicos. El Gemelo Digital del paciente se crea como resultado de transferir las características físicas del paciente y los cambios en su cuerpo al entorno digital. Esta tecnología ofrece soluciones innovadoras y definitivas para un correcto diagnóstico y seguir los procesos de tratamiento adecuados al paciente, que es uno de los principios más importantes de la medicina. Al mismo tiempo, el uso de la tecnología se ve en estudios de la medicina personalizada y la industria farmacéutica. En este estudio, considerando el impresionante potencial de la tecnología DT en el campo de la salud, se enfatizan estudios calificados que guiarán estudios futuros.

El artículo [10] explica como con el uso de DT junto con la tecnología IoT y otros modelos impulsados por Inteligencia Artificial, se consigue una réplica virtual de una persona humana, para poder predecir el estado de salud y diagnosticar enfermedades, así como tener certeza de los tratamientos a aplicar.

Los errores que pueden ocurrir en los dispositivos médicos, la detección incorrecta de hallazgos médicos y la mala interpretación de los mismos pueden llevar a diagnósticos erróneos, diagnósticos erróneos, tratamientos erróneos y tratamientos erróneos que pueden generar negatividad. Por este motivo, es muy importante anticiparse y prevenir errores.

La tecnología DT también ayudará en el diagnóstico temprano y preciso de enfermedades cancerosas. Los tratamientos contra el cáncer son procesos muy difíciles y riesgosos para los pacientes, sus familiares y los médicos.

### **Transporte y logística**

Este apartado comprende varios subcampos, como puede ser la conducción autónoma de vehículos o la logística de una empresa.

Por una parte, se puede encontrar algunos artículos donde se aplica DT a la llamada conducción autónoma.

Hoy en día, los sistemas de asistencia al conductor y los vehículos autónomos se desarrollan y verifican activamente en escenarios de prueba del mundo real. Estas pruebas del mundo real no son baratas ni suficientes para garantizar un riesgo de fracaso razonablemente bajo.

En el artículo [11] el autor describe un enfoque basado en reglas y un flujo de trabajo general para la generación semiautomática de escenarios de carretera para las pruebas automatizadas de sistemas de asistencia al conductor. Se selecciona una combinación de técnicas de generación de procedimientos existentes adecuadas para esta aplicación para generar automáticamente escenas que imiten adecuadamente escenarios del mundo real. Por otra parte, podemos encontrar investigaciones, como la siguiente [12], donde aparece un modelo de simulación modular, orientado a objetos y basado en agentes de un gran almacén de productos de papel.

Integra la conocida tecnología de Identificación por Radiofrecuencia RFID para transformar un modelo de simulación en un gemelo digital interactivo que recibe datos de los sensores y optimiza las rutas y la asignación de espacio mientras intenta reducir la distancia recorrida, el manejo y la posible congestión dentro de los pasillos. El sistema realiza experimentos y proporciona a los operadores las rutas optimizadas para los próximos 30 minutos, lo que permite mejorar la gestión del sistema.

Este último estudio que hemos visto podría también ser útil para nuestra investigación, pues existen algunas similitudes con algunos escenarios que veremos en este trabajo, como puede ser la recolección de datos de sensores de los vehículos militares, o de los efectivos humanos.

### **Smart cities**

Impulsadas por los desafíos de la rápida urbanización, las ciudades están decididas a implementar cambios socio-tecnológicos avanzados y transformarse en ciudades más inteligentes.

En el artículo [13], el autor presenta un paradigma de Smart City junto con DT que puede permitir una mayor visibilidad de las interacciones entre humanos, infraestructura y tecnología de las ciudades, en el que las fluctuaciones espacio-temporales de la ciudad se integran en una plataforma de análisis en la intersección en tiempo real de la realidad y la virtualidad.

A través del aprendizaje y el intercambio de información espacio-temporal con la ciudad, habilitado a través de la virtualización y la conectividad con dispositivos IoT, este gemelo digital de la ciudad se vuelve más inteligente con el tiempo, capaz de proporcionar información predictiva sobre el desempeño y el crecimiento más inteligentes de la ciudad. Otro artículo encontrado interesante que se presenta como modelo de DT de una ciudad es el siguiente [14].

Este artículo presenta el concepto de DT de una ciudad. Los autores proponen un enfoque evolutivo para este problema, según el cual los DT de elementos individuales del entorno urbano se construyen consistentemente en una única plataforma de hardware y software. Estos DT están vinculados en un único sistema cooperativo que permite que un



gemelo digital utilice datos producidos por otros gemelos digitales, de manera que exista un modelo piramidal, donde el DT principal, está compuesto por muchos DT secundarios. Esta técnica es bastante interesante, pues el sistema no parece tan complejo cuando diferentes DT pueden colaborar entre ellos formando un gran entorno virtual. En nuestra investigación se propone algo parecido, pues existen muchas entidades que tienen un papel importante y que están funcionando y recogiendo datos paralelamente. Algunos artículos han concretado un poco más, hablando de Smart home o Smart building, como el artículo [15], donde el autor sugiere crear un gemelo digital de una casa o edificio con la intención de tener una medición de sensores en tiempo real para prever situaciones futuras y contribuir al ahorro energético de la vivienda o del edificio, ayudado por sistemas de Inteligencia Artificial.

### **Aeronáutica**

En el campo de la aeronáutica se ha avanzado con la tecnología DT en diferentes aspectos. Por una parte, como se puede ver en el artículo [16], se ha establecido un sistema de DT que ayuda al proceso de revisión de aeronaves a mejorar en costo, calidad y eficiencia, pues se optimizan los procesos de mantenimiento, ya que con la ayuda de big data se podría capturar, monitorear y analizar de manera efectiva la información del proceso del taller.

Otra investigación interesante es la del artículo [17], donde el autor propone una solución en el campo del control centralizado del tráfico en los aeropuertos con DT. Propone una simulación espacial de manera que reproduce escenarios específicos relacionados con situaciones críticas en la red de transporte que requieren la participación de un sistema de control centralizado.

### **Otros**

Algunos artículos o investigaciones de DT que hemos visto interesantes son los siguientes: *Redes sociales*: En el artículo [18], el autor aplica DT al desarrollo del producto, usando las redes sociales.

Los investigadores han argumentado que la alta tasa de mortalidad del producto no se debe sólo a factores relacionados con el diseño de un determinado producto, sino también al hecho de que el compromiso y el comportamiento del consumidor son decisivos en las etapas de desarrollo del producto. En su mayoría, los canales de comunicación con los consumidores son a través de las Redes Sociales (SM) que suelen estar desestructuradas y de difícil análisis.

Esta investigación ha estudiado la importancia y la influencia del comportamiento emocional de los usuarios en la aceptación de nuevos productos a través de un enfoque analítico de redes sociales.

*Motores en cohetes*: En el artículo [19] explica cómo han aplicado DT al proceso de diseño, construcción y simulación en motores de cohetes.

En este artículo estudia la aplicación de DT en el ciclo de vida del diseño de motores sólidos y se centra en el análisis de la arquitectura de alto nivel de DT y el método de transferencia de datos en los mismos. Se discuten los problemas clave y las posibles soluciones.

En la tabla 1 se puede ver un resumen de algunas aplicaciones de DT.

APLICACIONES DIGITAL TWIN		
SECTOR	APLICACIÓN	REFERENCIAS
Industria y software	Simulación 3D, automatización de procesos...	[5], [6], [7]
Salud	Diagnósticos, tratamientos...	[8], [9], [10]
Transporte y logística	Conducción autónoma, optimización de rutas...	[11], [12]
Smart cities	Infraestructuras, ahorro energético...	[13], [14], [15]
Aeronáutica	Mantenimiento de aeronaves, gestión de aeropuertos...	[16], [17]
Otros	Redes sociales, motores en cohetes...	[18], [19]

Tabla 1. Aplicaciones DT

## 2.4 Aplicaciones específicas en entornos militares de DT

Muchos países de todo el mundo están invirtiendo en la tecnología de gemelos digitales y la utilizan activamente en muchas áreas, desde motores de aviones hasta naves espaciales. Un gemelo digital es una representación virtual que permite modelar el estado de una entidad o sistema físico, y se crea digitalizando datos recopilados de entidades físicas a través de sensores, por lo que se podrían realizar diversas predicciones al comprender el comportamiento de la entidad física. La importancia de la tecnología de gemelos digitales aumenta aún más en sistemas críticos como el ámbito militar con baja tolerancia a fallos.

Cuando observamos el surgimiento de tecnologías de nueva generación, podemos ver que, en general, primero se desarrollaron con fines militares. Tras aplicaciones exitosas en el ámbito militar, la difusión de la tecnología está asegurada y orienta nuevos estudios en otros campos. La tecnología de gemelos digitales ayudará a mejorar los procesos en campos como el militar y la aviación, donde el tiempo es de vital importancia, y a tomar decisiones rápidas cuando sea necesario.

Existen algunas investigaciones que, aun no siendo estudios directamente relacionados, ayuda a nuestra investigación porque indirectamente si están relacionados con las entidades que hemos diferenciado, o los diferentes DT dentro del Sistema completo.

En el siguiente artículo [7] se habla de una investigación en el campo de la salud. Consiste en crear gemelos virtuales de soldados del Ejército de Estados Unidos y de la Universidad de Nevada. Se crearán gemelos digitales de soldados utilizando diversas técnicas de imagen, como la resonancia magnética. Así, se ha informado que se pueden producir órganos mediante el método de impresión 3D utilizando modelos en DT en caso de alguna lesión.

Algunos otros artículos explicados en el apartado 5.4 también podrían servir como apoyo, como pueden ser los gemelos digitales de vehículos, aeronaves o personas, Sensorización de los mismos y el envío de datos para su posterior análisis.

En el artículo [8] se explica de manera general, los avances que ha habido de DT en entornos militares. Uno de los primeros estudios de gemelos digitales en el ámbito militar es el programa de producción adaptativa de vehículos (AVM), que comenzó en 2010, basado en el concepto de "Redescubrimiento" de la Agencia de Proyectos de Investigación



Avanzada de Defensa de Estados Unidos (DARPA). El programa tiene como objetivo acortar el ciclo de I+D de armas que transformarán la industria manufacturera y se basa en completar todos los procesos en el ciberespacio, incluido el diseño de productos, la simulación, la experimentación, el procesamiento y la producción.

Se anuncia que el ejército estadounidense planea crear “clones” digitales del avión de combate F-35 para predecir cuándo fallarán los componentes. El software que se utilizará produce clones digitales que pueden reemplazar las pruebas realizadas en el gemelo real. También están recurriendo a la tecnología de DT para resolver problemas y aumentar la eficiencia de la flota de helicópteros Black Hawk.

Las aplicaciones de DT en el ámbito militar no se limitan a los aviones. Teniendo en cuenta la importancia crítica del uso de sistemas satelitales en el ámbito militar, se ve que los avances en este campo tienen un impacto grave en el ámbito militar.

## 2.5 Ventajas e inconvenientes de la tecnología DT

Actualmente existe una gran cantidad de países e inversores que están pendiente de la tecnología DT debido al potencial y a las grandes ventajas que se esperan de ella.

Entre las ventajas examinadas por los autores del artículo [8] destaca las siguientes:

- **Producción más rápida y con menos costos.** Se necesita mucho tiempo para producir prototipos para pruebas físicas. Sin embargo, cuando se utiliza la tecnología DT la situación es diferente. Además de realizar diversas pruebas durante la fase de diseño, el gemelo digital se alimenta con los datos recogidos a través de los sensores del gemelo físico. Así, se prueban varios escenarios antes de decidir si se realiza un cambio físico en el prototipo. Se crea un número mínimo de versiones físicas para producir el producto final de forma más rápida y precisa. Además, se ahorra la mayor parte de los costes de producción de prototipos que se crean físicamente para llegar al producto principal.
- **Eficiencia de los procesos de mantenimiento y reparación.** Dado que un producto con un gemelo virtual transfiere continuamente datos de la entidad física a su gemelo digital, es posible tomar precauciones ante cualquier mal funcionamiento del producto, así como determinar la fuente del mal funcionamiento de forma remota. Incluso con la reparación remota se espera que los servicios de reparación y mantenimiento se aceleren y los costos disminuyan.
- **Obtener rápidamente predicciones futuras.** Con las técnicas de big data, inteligencia artificial y aprendizaje automático utilizadas junto a DT, se obtienen predicciones para el futuro gracias a diversas operaciones e interpretaciones de los datos existentes. En las fábricas inteligentes, se podrían tomar decisiones en tiempo real utilizando esta tecnología. En el entorno virtual se puede desarrollar inteligencia en situaciones que fomenten desarrollos futuros. Los datos de las máquinas recopilados durante un tiempo pueden ayudar a los operadores humanos de prototipos digitales a tomar mejores decisiones.
- **Alta fidelidad.** La precisión es importante ya que gestiona procesos que se pueden realizar tanto en entornos virtuales como físicos, es decir, cuanto mayor sea la precisión, más cerca estarán alineados los entornos virtuales y los físicos y más precisa será la simulación, el modelado y la optimización. Especialmente en áreas militares donde la tolerancia a fallas es muy baja y la importancia de la fidelidad es crítica, proporciona una

ventaja muy importante y aparece como un factor que aumenta la confiabilidad del sistema.

- **Fácil adaptabilidad a diferentes áreas.** Es difícil realizar cambios en líneas de producción a gran escala ya que las actividades de producción cesan durante el proceso de cambio. Además, que el cambio no asegura que funcione tan bien como lo estaba haciendo hasta el momento, siempre hay un proceso de adaptación. Sin embargo, con la tecnología DT, se podría deducir fácilmente si los cambios proporcionarán eficiencia o no y aplicarlos una vez que se tenga la certeza que mejora el sistema actual. Se podrían producir soluciones que aumenten la eficiencia de la producción y aumenten la rentabilidad mediante la implementación de nuevos modelos o procesos de negocio con tecnología de gemelos digitales.

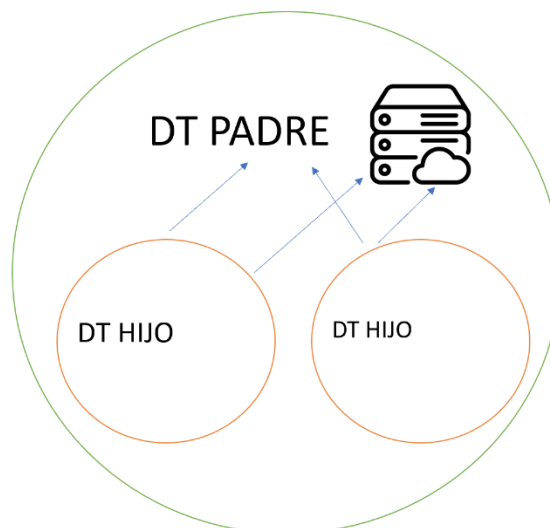
Por otra parte, podemos encontrar una serie de inconvenientes, como pueden ser:

- **Dificultad de implementación.** Esta tecnología conlleva unas fases, como puede ser la de diseño, implementación y producción, que no son fáciles de llevar a cabo, se necesita mucho tiempo y pruebas para llegar a su construcción.
- **Inversión inicial.** Como todo, es necesario una serie de elementos, software o equipo técnico para comenzar proyectos nuevos, en este caso depende del DT, de su envergadura, pero en principio el sistema central será común a todos los proyectos.
- **No existe ningún estándar de esta tecnología.** No hay nada estandarizado para la implementación de DT, cada compañía está creando proyectos de este tipo según los conocimientos propios e investigaciones privadas, con lo cual hay muchos caminos diversos y diferentes soluciones para llegar al mismo fin.
- **Formación del personal.** Tanto para comenzar a implementar un proyecto como para continuar el mantenimiento durante su ciclo de vida, se necesita a ingenieros o técnicos debidamente formados en la tecnología DT así como en los diferentes protocolos usados.
- **Sensorización y recogida de datos.** Existe una gran cantidad de sensores hoy día, pero no se puede sensorizar todo lo que se quiere, hay que diseñar un sistema donde se pueda implantar sensores reales para la recogida de datos y el envío de los mismos al sistema central.

### 3 Preparación de DT

En este capítulo se va a hablar de los criterios, elementos y fases del DT. Por una parte tenemos los criterios elegidos para la evaluación de cada caso, por otra parte los elementos o equipamiento técnico necesario en cada uno de ellos y finalmente se explican las fases por las que debe pasar cada DT para su correcto funcionamiento y de esta manera minimizar los posibles fallos de diseño que se pueden volver complicados de mitigar una vez se haya construido el DT.

En este sistema se pueden ver diferentes DT, por una parte, está el DT principal que es la copia virtual del sistema principal que estamos creando o dicho de otra manera el DT de cada caso donde se podrán ver los datos recogidos por todas las entidades y donde se estudiarán todos ellos como un producto, al que se llamará DT padre, y por otra parte están los DT's de las diferentes entidades que recogen datos individuales a los que se llamarán DT's hijos. Los datos recogidos en los hijos tienen una doble función, por una parte se estudian los datos obtenidos en ellos en el DT padre y por otra parte se pueden tener como referencia en la base de datos para comparar con otros datos recogidos por los mismos DT en otros casos, es decir, un DT humano puede aparecer en diferentes casos, y se pueden comparar en todos ellos para prever posibles situaciones de peligro o evitar situaciones adversas. En la figura 3 se puede ver la relación entre el DT padre y los DT's hijos. Puede haber tantos DT hijos como entidades haya en el caso, por ejemplo, si tenemos 3 entidades humano, 3 entidades armamento y 2 entidades vehículo tendríamos 8 DT hijo y un DT padre. Como se ha señalado anteriormente, los DT hijos sirven para construir el DT padre y para consulta en caso de su uso reiterado.



*Figura 3. Sistema DT*

### 3.1 Criterios

En este trabajo vamos a ir evaluando una serie de posibles casos de uso de DT en el entorno militar. Se han elegido estos criterios por diferentes razones, principalmente porque pueden definir de una manera general los diferentes casos, para unificar ciertas características, aunque haya otros criterios específicos de cada caso explicados dentro del mismo. Los criterios serían los siguientes:

1. Entorno. Según donde se desarrolle el caso, aquí se puede encontrar Tierra, Armada, Aire o Espacio.
2. Tipos de entidad. Es el tipo de DT hijo que aparecen en los diferentes casos. Los tipos de entidad pueden ser persona, vehículo o armamento.
3. Acción humana. Con este criterio se define si existe participación humana en el caso, y en caso de que exista, se puede distinguir dentro de la acción humana, si es militar o civil. Esta clasificación tiene un interés especial pues dentro de las entidades personas pueden ser militares o civiles, dentro de los civiles pueden ser ingenieros especialistas u otro tipo de civiles.
4. Tiempo de respuesta. Se han definido 3 tipos de respuesta según el tiempo necesario de respuesta del DT. Por ejemplo, si se necesita una respuesta rápida simulada en el entorno virtual, sería una respuesta inmediata, cuando se necesita una respuesta en menos de 5 minutos, respuesta media, en menos de 24 horas o lenta, sin tiempo determinado.

En la figura 4 se puede ver cómo sería el diagrama.

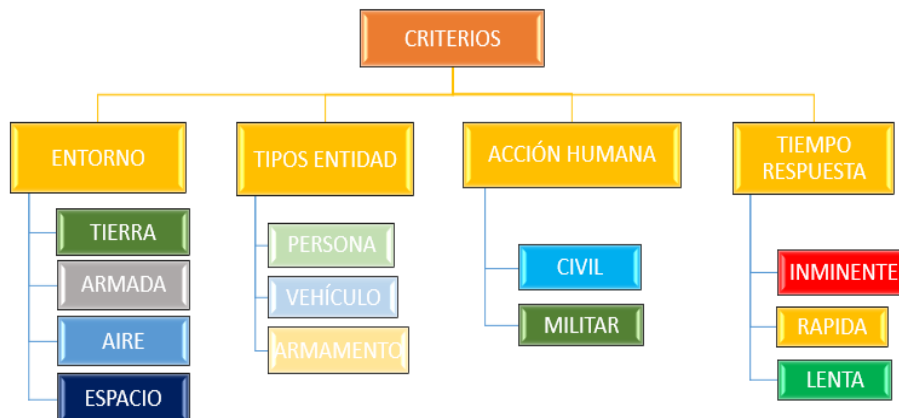


Figura 4. Diagrama de casos de uso

Se va a explicar seguidamente en qué consisten los criterios a valorar.

#### 1. Entorno.

El entorno sería donde se ubica cada caso, dentro de los diferentes ejércitos, pues puede haber diferentes escenarios según los ejércitos implicados. En este aspecto se cree conveniente que en algunos casos puede haber más de un entorno implicado,

puede haber situaciones donde se vean reflejados diferentes entornos, o diferentes ejércitos.

Dentro de los diferentes entornos, se ha diferenciado entre:

- Tierra: Cuando el escenario se lleve a cabo en un entorno terrestre, con las funciones que el ejército de tierra tiene encomendadas, como puede ser la protección a pie del territorio. Incluye el manejo de artillería, configuración de telecomunicaciones, o como apoyo de seguridad a otros ejércitos. Se pueden utilizar vehículos específicos, como tanques. Lo habitual es que sus misiones se desarrollen dentro de las fronteras del país, pero también pueden participar en algunas internacionales, ya sea en misiones de paz, o colaboración con algún otro país de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN)
- Armada: En este caso, se refiere a un entorno marítimo, donde la defensa se realiza en los diversos escenarios marítimos. Hay países que no tienen un Ejército Naval al no tener mares u océanos en su cercanía, otros necesitan este ejército debido a que están rodeados de agua o con muchos km de costa como pueden ser islas, penínsulas o pegados al mar. En este entorno se pueden encontrar embarcaciones además de efectivos humanos. Por otra parte, se encuadraría en este entorno los casos tipo SONAR (Sound Navigation And Ranging), técnica muy importante tanto para la comunicación como la detección de objetos sumergidos, ya sea para la detección de naves submarinas, la detección de torpedos o la comunicación entre diferentes embarcaciones.
- Aire: Este escenario tiene la función principal de prevenir conflictos, detener agresiones mediante el uso de aeronaves, así como sistemas RADAR de vigilancia aérea. El Ejército del Aire tiene una doble función, ya que no solo está relacionada con la aeronáutica militar, sino que defiende el espacio aéreo nacional, con lo que ello conlleva. En este aspecto afecta de manera positiva a la aviación civil, evitando amenazas con la vigilancia continua mediante los RADAR que se encuentran estratégicamente colocados en los diversos puntos del territorio nacional. Se puede encontrar en este entorno aeronaves y aunque los efectivos humanos se pueden encontrar en todos los entornos citados, en el Aire se ubicarían los efectivos paracaidistas, efectivos humanos que tienen una especial función a la hora de la realización de algunas maniobras de alta dificultad por los diferentes escenarios donde se realizan.
- Espacio: Recientemente se está creando un ejército diferente en algunos países, el Ejército del Espacio, o Fuerza Espacial. Es el más joven de todos, en ocasiones, los países lo encuadran dentro del Ejército del Aire por afinidad y no duplicar personal. En esta investigación se ha decidido mantenerlo aparte por su singular función. En este entorno estarían ubicados los ataques hipersónicos, así como la defensa hipersónica como contraparte. También se ubicaría aquí todos los satélites o equipamiento que tenga una clara función militar, bien sea de comunicación o recogida de información. Aunque de momento parece ciencia ficción, puede existir la situación de ataques a satélites enemigos tanto desde tierra como desde otros satélites.

## 2. Tipo de entidad.

Este criterio hace referencia a los diferentes tipos de efectivos que podemos encontrar, cada efectivo tendrá su imagen virtual en el sistema DT, representando a lo que sería el

efectivo en el mundo real. Dicho de otra manera, las entidades serán los DT hijos, que forman el DT principal o DT padre, como hemos explicado en la introducción del capítulo 3.

- Humano: Aquí va metido todo el personal que participa en cada caso, teniendo en cuenta el número y las características. Se tendrían en cuenta las siguientes características para un humano standard. En la tabla 2 aparecen los estándares de peso y altura en humanos, teniendo en cuenta estudios de población que aparecen en [29].


Peso (kg)	80	 1
Altura (m)	1.75	

Tabla 2. Entidad humano

- Vehículo: Existen diferentes tipos de vehículos. Aunque dentro de cada ejercito hay muchos modelos de carros de combate, aeronaves o embarcaciones, se va a tener un standard, que se podría cambiar en caso de que se quisiera concretar en cuanto a modelo y características. En la tabla 3 se muestran los vehículos elegidos.

VEHÍCULO	PESO	LONGITUD	ENVERGADURA	ALTURA	
Caza Eurofighter typhoon	11'5 T	15'97 m	11'09 m	5'29 m	 [30]
Buque	26000 T	231 m	32 m	27 m	 [31]
Leopard II	62'3T	7'7 m	3'74 m	2'64 m	 [32]
MQ-1 Predator UAV	2223 kg	11 m	20 m	11'8 m	 [33]

Tabla 3. Entidad vehículo

- Armamento: Dentro del armamento se puede encontrar una gran variedad, desde fusiles hasta misiles. En la tabla 4 aparecen los más usados dentro de los equipos que existen en nuestro sistema DT, no obstante, y como se viene diciendo, se podrán ir añadiendo si es necesario.

ARMAMENTO	PESO	LONGITUD	CALIBRE	ALCANCE	
FUSIL HK G36	3'63 kg	758/999 mm	5'56x45 OTAN	800 m	 [34]
Taurus KEPD 350	1,4 T	5'1 m	1'8 m	500km	 [35]


Rheinmetall DM53 antitanque	8'5 Kg	685 mm	26 mm	4000 m	 [36]
--------------------------------	--------	--------	-------	--------	--

Tabla 4. Entidad armamento

### 3. Acción humana

Primero de todo se debe ver si existe Acción humana, pues habrá casos que en los escenarios no participen directamente, como puede ser el caso de un dron. Dentro de la acción humana, distinguiremos entre.

- Militar: Humano con características especiales por su naturaleza, puede portar armamento, puede tener información confidencial y algun que otro aspecto.
- Civil: Es el otro tipo de humano existente. Este tipo puede tener también unas características y una formación específica, puede ser Ingeniero, especialista o técnico. En la tabla 5 aparecen los dos tipos.



Militar	
Civil	

Tabla 5. Acción humana

### 4. Tiempo de respuesta

Dentro de los diferentes casos de uso, se puede encontrar casos con diverso margen de respuesta a la hora de actuar. Dicho de otro modo, a veces es necesario una actuación inmediata, al tratarse de un caso de uso donde se está llevando a cabo una amenaza real, es decir, donde el sistema real necesita feedback del sistema virtual para llevar a cabo una maniobra dentro de un determinado ejercicio, bien sea en un conflicto armado real o bien sea en un ejercicio de entrenamiento o simulacro donde existen diversas alternativas.

En la tabla 6 se pueden ver 3 diferentes tiempos de respuesta.

T.R. Inmediato	Se necesita una respuesta lo más rápida posible para evitar una situación de peligro para algún componente del sistema. Tiempo < 5 minutos.
T.R. Medio	No existe peligro inminente, pero es conveniente encontrar una posible solución a alguna situación complicada. Tiempo < 24 horas.
T.R. lento	Existe tiempo para la realización del feedback desde el DT al sistema real, ya sea porque se trate de un entrenamiento o porque aún se esté en fase de desarrollo del sistema. Sin tiempo establecido.

Tabla 6. Tiempo de respuesta



## 3.2 Elementos

Como en todos los sistemas, en DT se necesita una serie de equipos técnicos. En la figura 5 se puede ver como sería el Sistema Central de DT. Por una parte está el escenario real, donde se encuentran los DT's con todos los sensores y demás elementos, por otra parte están las diferentes capas del sistema: Una capa de almacenamiento, donde se guardan los datos obtenidos, así como las bases de datos una vez analizados los mismos, una capa de procesamiento y análisis de datos, donde se trabajan y analizan los datos que están guardados y se presentan como bases de datos para consultar en futuros escenarios o situaciones y finalmente la capa de aplicaciones, donde se encuentran todas las aplicaciones a usar en el sistema. Por último encontramos el escenario real, construido y modificado según la información obtenida, trabajada y almacenada.

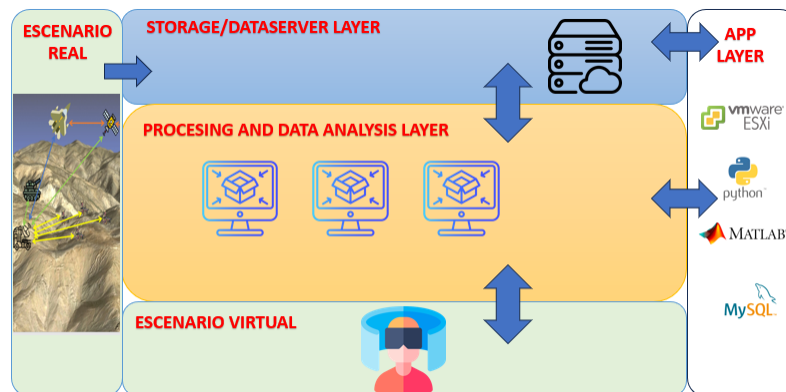


Figura 5. Sistema Central

Vamos a dividir estos elementos técnicos en los siguientes grupos:

### 1. Sensorización.

Todas las entidades descritas en la introducción anterior deben estar sensorizada para poder recoger los datos dentro de las situaciones o escenarios reales.

Existen una gran variedad de sensores. Según la entidad a monitorizar se utilizarán unos sensores u otros. En el subapartado 3.3 se va a hablar mas específicamente sobre los posibles sensores que se pueden utilizar para recolectar datos de las entidades.

Dentro de los sensores que se van a utilizar destacan los siguientes:

- Sensores para medir constantes vitales de los soldados.
- Sensores para medir los datos de los diferentes vehículos.
- Sensores para medir la posición de cada entidad.
- Sensores para medir datos de armamento.

### 2. Obtención de datos.

Los sensores recogerán una serie de datos que irán enviando en real time hacia los dispositivos de almacenaje dentro del rango correspondiente. Existirá una red LAN en el escenario a estudiar donde se llevará a cabo el intercambio de información entre los sensores y el Gateway local. Según sea el escenario o el caso planteado encontraremos unos dispositivos u otros.

De manera general, se almacenará la información recogida en una base de datos y desde ese dispositivo central se enviará al dispositivo principal.



Otra método sería el envío constante de datos sin necesidad de almacenamiento local, aunque puede perderse información si hay problemas estabilidad en las comunicaciones.

### 3. Enlaces de comunicación.

Dentro de este apartado de sistemas de comunicación se encontrará varios tipos de comunicación, según las distancias de envío, así como la cantidad de datos a enviar. A continuación, se realizará una clasificación de los diferentes tipos de comunicación que se necesita en este sistema.

- Comunicación corta distancia entre sensores y Gateway. Esta comunicación es la que existe entre los sensores y el dispositivo de almacenamiento local, dentro de la red LAN del escenario a estudiar. Existen diversos tipos de comunicación de corto alcance, como puede ser WIFI, Bluetooth, RFID, Zigbee, ZWave, LPWAN
- Comunicación larga distancia entre Gateway local y sistema central, donde se encuentra el sistema virtual DT. En este caso se puede crear un enlace satélite para enviar los datos en real time al sistema central y de esa manera poder estudiarlos, analizarlos y almacenarlos en los dispositivos de almacenaje, a la vez que se copian en el sistema virtual DT.
- Comunicación cableada en el sistema central. Esta comunicación se realizará mediante cable, ya que se trata de una red LAN concentrada en un edificio. Aquí es donde se encontraría los diferentes servidores y dispositivos del sistema central.

### 4. Dispositivos del Sistema Central.

El Sistema Central sería donde se encuentra el cerebro de todo el sistema, donde se encuentra la imagen virtual del sistema real.

En este caso se divide el sistema en 5 diferentes capas, que son las siguientes.

1. Escenario real.
2. Capa de almacenamiento.
3. Capa de aplicaciones.
4. Capa de procesamiento y análisis de los datos.
5. Escenario virtual.

Dentro de los diferentes equipos técnicos, nos podemos encontrar los siguientes:

- Servidores. Donde se almacena toda la información obtenida por el gemelo físico. Puede ser servidores físicos o virtuales. Se encuentra en la capa de almacenamiento.
- Ordenadores. Hay diferentes tipos de equipos con los cuales nos conectamos a los servidores mediante las aplicaciones
- Gateway o centralita de datos. Este aparato se puede ubicar en el tráiler de comunicaciones, recibe los datos de todos los sensores colindantes y los envía a la central mediante la conexión satélite.
- Antena satélite. Esta antena es la que comunica el escenario físico con el sistema central, desde aquí se envía toda la información recolectada en el entorno físico al entorno virtual.
- Equipos de transmisión y recepción de comunicaciones. Aquí ubicamos todos los equipos que nos ayudan a la transmisión y recepción de los datos.
- Aplicaciones. Se mete en equipos técnicos todas las aplicaciones, software y demás.
- Sensores. Lo explicaremos en el siguiente apartado.

- GPS. Esto puede estar ubicado en sensores o aplicaciones, para evitar confusión lo hemos sacado y lo hemos dejado en esta lista.

### 3.3 Sensores

Se ha creado este apartado por la importancia que tiene. Los sensores son parte de los elementos más importantes del sistema, ya que gracias a ellos se recogen los datos de cada entidad para después plasmarlo en el DT hijo correspondiente. A continuación, se va a determinar los diferentes tipos de sensores que se puede encontrar en cada entidad.

#### Humano

En el futuro, la recopilación continua de datos de signos vitales será una parte integral del historial médico electrónico de cada paciente. Los sensores que recopilen esta información serán más pequeños, inalámbricos y potencialmente más heterogéneos. Podemos hacer una diferenciación de los diferentes sensores que se puede encontrar en esta entidad, por la especial característica vital, es decir, estamos hablando de un humano, no de un objeto. En este sentido, podemos tener sensores que miden las constantes vitales y otros sensores que miden otros aspectos, como puede ser la verticalidad o la posición.

- Sensores vitales: Existen 5 constantes vitales, que serían: Saturación de oxígeno, tensión arterial, ritmo cardiaco, frecuencia respiratoria y temperatura. Con batería de larga duración e inalámbrico.  
Existen sensores que se encargan de medir y monitorizar estas constantes vitales como veremos reflejados en la tabla.
- GPS: Dispositivo para saber en todo momento la posición de la persona. Inalámbrico, tecnología LPWan y con batería larga duración.
- Inclinómetro: Este dispositivo inalámbrico de larga duración, mide la posición de objetos. Aunque originalmente está fabricado para estructuras, sería interesante que los soldados llevaran uno para saber en cada momento si está en posición horizontal o vertical, para junto valorar posibles muertes o desvanecimientos. Tecnología LPWan
- Sensor calidad del aire: Importante para saber si hay peligro a la hora de respirar por algún ataque de gas o por la baja calidad de oxígeno en el ambiente. Puede medir otros parámetros, el sensor que se añade a la tabla es inalámbrico y mide también la calidad ambiental y calidad del aire en interiores: Medición de CO<sub>2</sub>, Temperatura, Humedad, Presión barométrica, Presencia/Movimiento, incluyendo nivel de actividad, Intensidad luminosa y TVOC (Total Volatile Organic Compounds).
- Smartwatch: Aunque no es un sensor como tal, debido a su versatilidad, se ha creído conveniente incluir este tipo de dispositivos. Con ellos se puede monitorizar muchos aspectos de salud. Aunque hay muchos modelos en el mercado, se ha elegido el dispositivo marca Samsung que mide la actividad física y movimientos, monitoreo del sueño, nivel de oxígeno en sangre y realiza un análisis de composición corporal. Esta

última medición se realiza de la siguiente manera: El dispositivo dispara una corriente eléctrica imperceptible que recorre el cuerpo y es capaz de verificar una serie de informaciones fundamentales para la salud. Este examen revela el peso de nuestros músculos, porcentaje de grasa, agua corporal total y hasta la tasa metabólica basal, que indica la cantidad de calorías necesarias que el cuerpo necesita para mantenerse diariamente. En la tabla 7 se muestran algunos sensores, que pueden medir y el fabricante.

SENSORES	MEDICIÓN	FABRICANTE
Vital-sense	Constantes vitales	Universidad de München [20]
Localizador GPS	Localización	Invoxia [21]
Tiltmeter	Inclinación	Move solutions [22]
DI-iam	Calidad del aire	Decentlab [23]
Smartwatch	Salud	Samsung [24]

Tabla 7. Sensores

### Vehículos

En esta entidad hemos elegido un sistema de diagnóstico OBD (On Board Diagnostics), es una herramienta que chequea el estado del vehículo, y nos permite comprobar si esta todo correcto, niveles o errores que puedan existir. Tiene conexión bluetooth BLE+ (Bluetooth Low Energy) la cual está diseñada para proporcionar un bajo consumo de energía, manteniendo un rango de alcance de comunicación similar. En la tabla 8 se puede ver que tipo de mediciones toma este sensor y su fabricante.

SENSORES	MEDICIÓN	FABRICANTE
OBDCheck BLE+	Fluidos	Veepeak [25]
	Temperatura	
	Fallos motor	
	Posición	
	Verticalidad	

Tabla 8. Sensores en vehículos

### Armamento

En armamento hemos decidido seleccionar un sistema de tiro muy versátil llamado Mantis X10 Elite. Este novedoso sensor inalámbrico, se monta sobre el riel de cualquier arma de fuego (pistola, escopeta e incluso fusil) y recopila todos los movimientos de ésta inmediatamente antes, durante y después de presionar la cola del disparador. En la tabla 9 aparecen las mediciones que toma este tipo de sensor y su fabricante.

SENSORES	MEDICIÓN	FABRICANTE
Mantis X10 Elite	Temperatura	MANTIS [26]
	Disparos realizados	
	Disparos restantes	
	Fallos	

Tabla 9. Sensores en armamento

### 3.4 Fases

Existe una serie de fases que todo DT debe seguir para una correcta coordinación y sincronización entre el entorno virtual y el entorno físico, de manera que la construcción de producto sea lo mas completo posible. En la figura 6 veremos un diagrama de flecha donde se puede visualizar las diferentes fases y a continuación se explicará cada una de ellas.



Figura 6. Fases del DT

Las fases del proceso DT se dividen en las siguientes:

1. *Fase de diseño del producto:* En esta fase se llevaría a cabo la creación o diseño del gemelo digital a partir del desarrollo del caso real. En esta fase tendremos que desplegar todos los elementos a estudiar, sensorizar todas las entidades o gemelos digitales hijos, así como realizar la configuración de las comunicaciones y demás equipo técnico.
2. *Fase de recolección de datos:* Aquí es donde se lleva a cabo el caso real, una vez diseñado el producto, de manera que se empieza a recoger datos de los sensores instalados en los gemelos digitales y almacenando adecuadamente para su posterior análisis de datos.
3. *Fase de análisis de datos:* En esta fase es donde se trabaja con los datos recogidos, donde se limpian y ordena toda la información que se ha ido almacenando. En esta fase se trabaja con otras tecnologías como puede ser big data, análisis de datos, inteligencia artificial, cloud computing etc.  
 Por otra parte, se utilizan diversas aplicaciones para ello, como pueden ser aplicaciones de programación, de base de datos y un largo etcétera, que ayudarán a automatizar todo el trabajo de esta fase.
4. *Fase de rediseño del gemelo digital:* Una vez recogidos, analizados y procesados los datos, se rediseña el gemelo digital, se evalúa el diseño anterior y se realizan los cambios oportunos para adecuarlo al experimento realizado.
5. *Fase de automatización del gemelo digital:* En este punto se tiene aproximadamente lo que sería el producto final, con los datos obtenidos y con algoritmos de predicción adecuadas se puede trabajar en las diferentes situaciones derivadas por la multitud de variables que se pueden encontrar en el escenario estudiado.

6. Evaluación del producto y constante mejora. Esta fase es una fase constante, ya que se está evaluando al producto durante todo su ciclo de vida, para cambiar o actualizar los parámetros adecuados.

## 4 Casos de uso

Existe una gran infinidad de posibles casos de uso, ya que el entorno militar es muy amplio. En esta investigación, hemos seleccionado una serie de casos que se pueden asemejar a casos reales donde se pueden cambiar los diferentes parámetros o criterios existentes para adecuarlo a casos similares.

A continuación, se explicarán los diferentes casos de uso, así como las posibles características o variantes dentro de los mismos.

Existe una serie de fases comunes a todos los casos para la creación de los gemelos digitales. Digo gemelos digitales en plural porque podemos considerar el caso concreto como un DT, pero a su vez tenemos muchos gemelos digitales dentro que serían las entidades y que puede haber tantas como se decida. Es decir, tenemos un DT padre y muchos DT hijos, para entender mejor la idea. En la tabla 10 se enumerarán los casos de uso estudiados.

CASO DE USO		APLICACIÓN
1	Reproducción del campo de batalla	Posibles escenarios en zonas hostiles o de guerra
2	Búsqueda y Rescate (SAR)	Salvamento de personas o animales tras un accidente
3	Prácticas y entrenamientos	Escenarios de prácticas o entrenamientos de interés
4	Misiones de Paz	Reproducción de ejercicios no bélicos, pero de interés militar
5	SONAR	Ejercicios donde se utilizan radar SONAR
6	Brigadas Aerotransportadas	Escenarios con participación de efectivos de brigadas aerotransportadas
7	Drones ISR	Misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento de zonas de interés con aeronaves no tripuladas
8	Extinción de incendios forestales	Lucha contra incendios en zonas forestales o que necesiten los servicios de extinción militar

Tabla 10. Casos de uso

### 4.1 Reproducción del campo de batalla

A este caso se le ha puesto el nombre de campo de batalla, porque se quiere conseguir la reproducción real de los diferentes escenarios posibles en el planeta donde se pudieran encontrar conflictos armados entre diferentes enemigos.

Como hemos dicho anteriormente, se pueden cambiar los diferentes parámetros dentro de la estructura.

En la figura 7 se puede ver un ejemplo de cómo sería un caso de uso “Campo de batalla”. Ahí se puede ver 4 entidades humano, un carro de combate y un avión.

El satélite y el tráiler con la antena satélite no se tiene en cuenta como entidad, ya que formaría parte del equipo técnico, en este caso de las comunicaciones.

Se puede observar como las comunicaciones son bidireccionales, de manera que se envían datos, pero también se pueden solicitar los datos que se considere oportuno.

Se ha visto oportuno crear un enlace redundante, de manera que, si se pierde la comunicación entre algunos elementos, se pueda usar otra ruta.

En el caso de que haya un problema de comunicación entre el tráiler antenna satélite y el satélite, existe una ruta redundante, que sería usando la aeronave como backup. Del mismo modo, si la aeronave pierde el enlace con el satélite, puede usar el tráiler para enviar los datos.

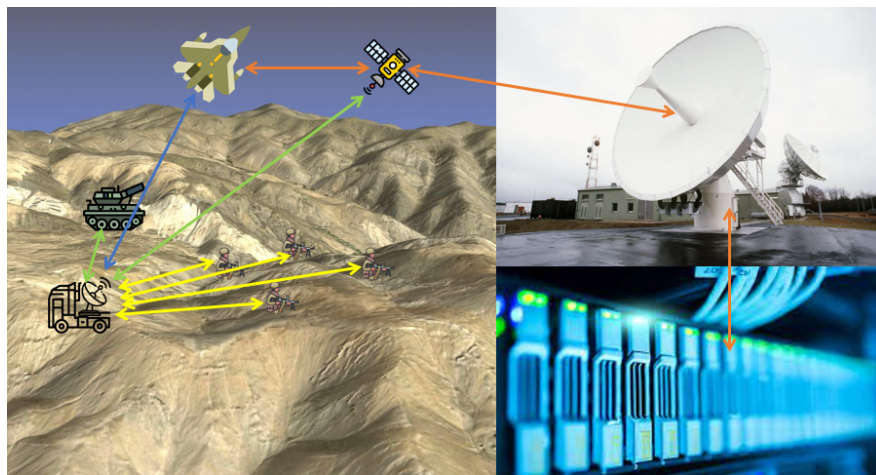


Figura 7. Flujo datos bidireccional

#### 4.1.1 Criterios.

Vamos a simular un posible ejercicio dentro de este caso:

- Escenario: Afganistán.
  - Geomorfología: Desértico montañoso.
  - Ejercicio: Comprobación de insurgencia en una ruta.
  - Efectivos: Patrulla con 10 efectivos humanos, 2 vehículos tipo carro de combate, antena tráiler.
  - Acción humana: Sí, militar.
  - Peligrosidad: Alta, pues la zona puede estar llena de insurgentes y puede haber emboscadas.
  - Terreno: Dificil acceso, entre valles, donde pueden existir ataques varios por los flancos.
  - Apoyo: Apoyo aéreo ante cualquier emboscada.
  - Fin de la operación: Comprobar que la ruta está libre de insurgentes.
  - Tiempo de reacción. Inmediato.
  - Trabajo de DT: Si existe un problema de emboscada, se puede medir exactamente la posición del ataque, de manera que el apoyo aéreo sea lo más rápido y certero posible para dar con el objetivo rápidamente.
- Al tener información grabada de las rutas, altitud, posición de cada punto montañoso y posibles puntos calientes, es más fácil prevenir emboscadas.
- Tiempo necesario para simular: En principio más o menos debe haberse realizado alguna prueba en lugar no peligroso, de manera que se pueden cambiar los parámetros de ese test y pasarlos al escenario real. A medida que se sigan realizando



pruebas, el DT irá aprendiendo y teniendo información almacenada de datos de posibles soluciones y ayudado por la IA poder decidir qué hacer en cada momento.

- Tiempo de ejecución: Según la ruta a comprobar, se tardará más o menos. Al ser una situación difícil y peligrosa, hay que ir con cautela, a baja velocidad y observando bien todo el alrededor. En este ejercicio podemos hablar aproximadamente 8 horas.
- Equipo técnico: En la tabla 11 aparece el equipo técnico que necesitamos tanto en el entorno físico como en el entorno virtual.

ENTORNO FÍSICO	ENTORNO VIRTUAL
Sensores	Servidor
Antena satélite terrestre	Ordenadores
Gateway o central datos	Aplicaciones
Equipos comunicación	

Tabla 11. Equipo técnico caso 1

#### 4.1.2 Modificaciones

En la figura 8 aparece una gráfica de cómo podría variar el caso estudiado.

Dentro del caso “Campo de batalla”, podemos encontrar diferentes escenarios como pueden ser:

- Desierto
- Bosque
- Mar
- Aire

En este caso se ha elegido “Desierto”. Dentro de este escenario puede existir diferentes ejercicios, como pueden ser:

- Limpieza de edificios
- Comprobación de rutas
- Reconocimiento de lugares desconocidos
- Comprobación de zona libre de minas o bombas

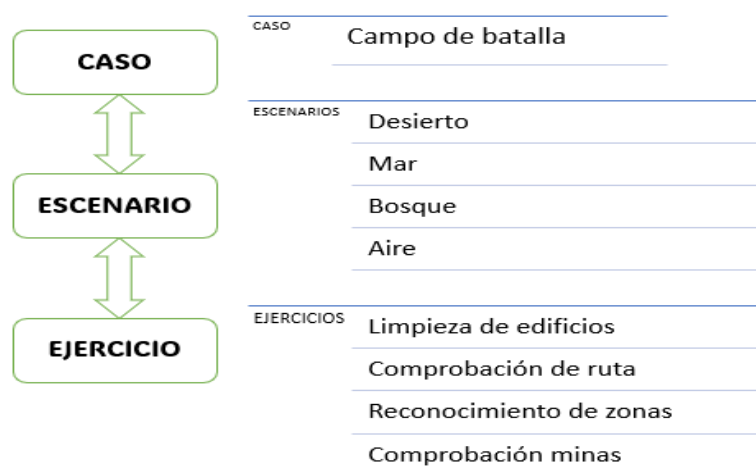


Figura 8. Modificaciones “Campo de batalla”



## 4.2 Búsqueda y Rescate (SAR)

Otro ejemplo de caso elegido es el de búsqueda y rescate. Es muy importante trabajar sobre ello para minimizar los peligros tanto para las víctimas como para los rescatadores, pues es un ejercicio que se puede complicar mucho según las condiciones del rescate. Búsqueda y Salvamento Aéreo (SAR, del inglés *Search and Rescue*) es un servicio 24/7 que tiene por misión la localización de aeronaves siniestradas dentro del espacio aéreo español o áreas de responsabilidad española y la rápida asistencia y recuperación del personal accidentado. Del mismo modo, coopera con otros organismos civiles y militares cuando, por haberse producido un accidente, catástrofe o calamidad pública, se requiera su colaboración.

El SAR conlleva una operación de movilización por equipos de atención de emergencias bien entrenados y capacitados, sean civiles o militares, cuyo objetivo principal es localizar a una o varias personas que se estima desaparecidas, perdidas, extraviadas, lesionadas, enfermas o fallecidas, en áreas remotas o de difícil acceso. El objetivo principal del SAR es salvar vidas y/o recuperar, en el mejor de los casos, los cuerpos de las víctimas utilizando procesos científicos con apoyo técnico para lograr accionar el sistema y desplegar unidades para rescatar a los afectados en el estado en que se encuentren.

### Tipos de SAR

Las labores de rescate regularmente son clasificadas por el ambiente en el que se desarrollan, entre las principales destacan las siguientes:

- Rescate en montaña
- Búsqueda y rescate urbano
- Búsqueda y rescate en estructuras colapsadas
- Búsqueda y rescate de combate
- Rescate marítimo por aire
- Rescate en aguas rápidas e inundaciones
- Rescate en zanjas
- Rescate en cuevas
- Personas extraviadas.
- Salvamento o recuperación de personas en vehículos.
- Salvamento o recuperación de personas en cualquier tipo de emergencia o evento adverso.

En la figura 9 se puede ver una rápida representación de cómo sería el caso. En este caso aparece un vehículo helicóptero, que aparte de ser el equipo fundamental de rescate, sirve para ejercer de Gateway entre la persona a rescatar y el satélite de comunicación. Existe un equipo de rescate que estaría compuesto de al menos 5 personas, y si es necesario, podría haber también un barco de apoyo, tanto por el rescate como por las comunicaciones, pues también serviría de enlace backup.

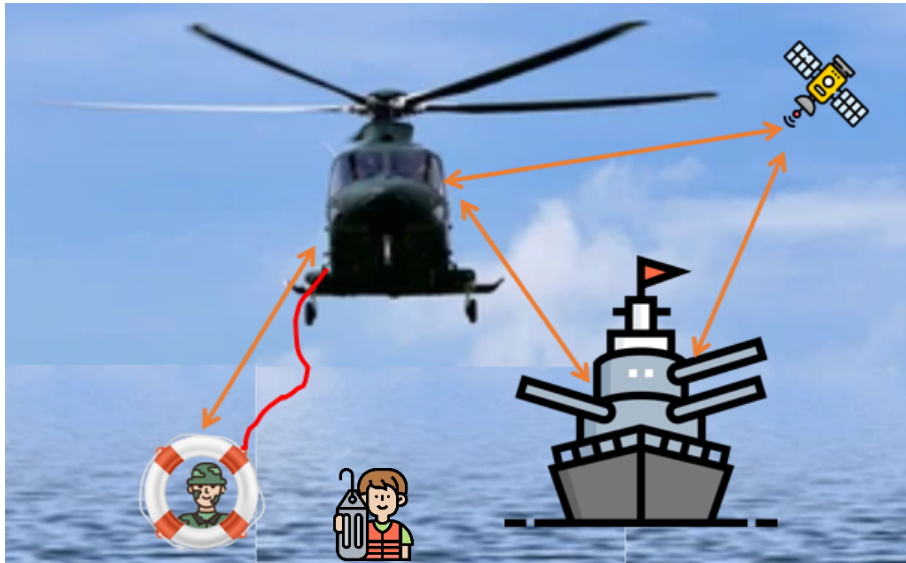


Figura 9. Rescate marítimo

#### 4.2.1 Criterios.

Vamos a simular un posible ejercicio dentro de este caso:

- Escenario: Océano.
- Geomorfología: Acuático.
- Ejercicio: Rescate marítimo.
- Efectivos: Patrulla con 5 efectivos humanos, 2 vehículos (Helicóptero y barco).
- Acción humana: Si, militar. Posibilidad de que la víctima sea civil.
- Peligrosidad: Depende de las condiciones del escenario, de la metodología y de otros aspectos, en este caso se puede decir que sería una peligrosidad media.
- Terreno: Escenario agua-aire.
- Apoyo: Apoyo naval.
- Fin de la operación: Cuando se rescate a la persona.
- Tiempo de reacción. Inmediato.
- Trabajo de DT: En este caso, el DT debe dar la situación de la víctima según los GPS, así como todas las constantes vitales de la persona. Según mediciones de presión atmosférica, temperatura, humedad etc., saber si está lloviendo o el mar puede estar agitada. Mediante la información que tenga en su base de datos puede hacer sugerencias a la hora de la realización del rescate, como la necesidad de apoyo o de algún equipo adecuado. En caso de que haya complicación en el rescate, según el tiempo empleado, puede saltar alarma para reforzar el mismo.
- Tiempo necesario para simular: Se necesitan ejercicios de entrenamiento para crear y diseñar el DT del caso con sus posibles DT's hijos.
- Tiempo de ejecución: Según la peligrosidad y la dificultad del rescate, el número de víctimas, etc., en concreto se podría decir que se necesitaría unas 3 horas para este caso.
- Equipo técnico: En la tabla 12 pondremos el equipo técnico que necesitamos tanto en el entorno físico como en el entorno virtual.

ENTORNO FÍSICO	ENTORNO VIRTUAL
Sensores	Servidor
Antena satélite en embarcación	Ordenadores
Gateway o central datos	Aplicaciones
Equipos comunicación	

Tabla 12. Equipo técnico caso 2

## 4.2.2 Modificaciones

En la figura 10 aparece una gráfica de cómo podría variar el caso estudiado.

Dentro del caso “Búsqueda y rescate” se pueden encontrar un gran número de situaciones diversas, en este caso vamos a dividirlos en 3 categorías o escenarios:

- Montaña
- Mar
- Ciudad
- Zona Combate

En este caso se ha elegido “Mar”. Dentro de este escenario puede existir diferentes ejercicios, como pueden ser:

- Salvamento tripulación aeronave caída
- Salvamento embarcaciones a la deriva
- Salvamento animales

En este caso existe una peculiaridad, podemos hacer otra clasificación según los equipos que intervienen:

- Rescate vertical desde helicóptero
- Rescate horizontal desde embarcación



Figura 10. Modificaciones “Salvamento y Rescate”

## 4.3 Prácticas y entrenamientos

La materia de Instrucción y Adiestramiento permite al alumno adquirir las técnicas y procedimientos de instrucción individual que le habiliten para actuar como combatiente

general en cualquier escenario. Para ello deberá conocer y saber utilizar los equipos de transmisiones, el armamento y los materiales reglamentarios.

En este caso se pueden realizar muchos diferentes ejercicios. Todo ejercicio de entrenamiento o práctica conlleva un coste, tanto económico como personal. Dicho de otra manera, hay un coste económico, pues se debe emplear una serie de medios para su desarrollo, como de personal, ya que, aunque un ejercicio sea desarrollado por un grupo de personas, se necesitan a otras personas para que este ejercicio pueda llevarse a cabo con éxito.

En este sentido, en el presente caso se pueden encontrar ejercicios como son los siguientes:

- Instrucción como combatiente general
- Transmisiones
- Armamento y material
- Conocimientos básicos de topografía
- Teoría elemental del tiro y tiro de instrucción básica inicial

La instrucción militar se puede dividir en dos partes si se habla de metodología, dos partes que van unidas pues son igualmente importantes. Por una parte, tenemos la teoría, que es la base para poder realizar una práctica, pero no deja de estar íntimamente relacionado, ya que la teoría sale de la investigación de algo práctico.

Por otro lado, las prácticas son ejercicios que se realizan para interiorizar esos conocimientos aprendidos en la teoría. Dicho esto, nos vamos a centrar en la práctica, se da por hecho que existe una enseñanza teórica de cómo se va a realizar los diferentes ejercicios.

Este caso práctico se va a centrar en un ejercicio de tiro. Se explicará cómo sería un ejercicio de tiro con DT. En la figura 11 se puede ver una galería de tiro donde se lleva a cabo la práctica. En este ejemplo se tendrían tres tipos de sensores:

- Sensor constantes vitales humano: En este punto, se enviaría al DT las constantes vitales del tirador, para comprobar cómo afecta esta práctica de tiro a la persona, nivel de nerviosismo, tensión y demás aspectos que pueden influir en la calidad del ejercicio y que deben ser estudiados para intentar cambiarlos o modificarlos a la hora de futuros ejercicios. De esta manera el tirador, una vez estudiado en el DT, puede intentar modificar esos parámetros. Al intentar controlar esos valores, se puede realizar un mejor ejercicio mejorando las marcas.
- Sensor diana: Este sensor nos indicaría los impactos de cada tiro, que relacionándolo con otros sensores se podría ver como se sentía el tirador en cada disparo y de esta manera relacionar la precisión del disparo con el estado humano.
- Sensor en arma: Este sensor mide los datos del arma y se puede estudiar junto con los otros datos de sensores para mejorar esta práctica.

En este caso, el DT es muy útil para la mejora de esta práctica una vez estudiado los datos, quizás no tenga una gran utilidad en tiempo real, aunque visto de diferente manera, si se puede hacer de manera que el DT realice esta serie de cálculos con la información que va recibiendo de los sensores en tiempo real y se le pueda ir comunicando al tirador los efectos que tiene en cada disparo y que lo vaya corrigiendo en cada momento.

En cuanto al equipo técnico, los datos de los sensores van directamente al Gateway local y de ahí mediante VPN usando servicios de proveedor de internet, a la central.

En este caso se ha elegido un arma corta, pero igualmente se puede realizar con arma larga e intercambiar las posturas, que serían las siguientes:

- En pie
- De rodillas
- Tendido.

Otros tipos de ejercicio en este caso serían los tiros tácticos, aquí se puede jugar alternando las posiciones, los tipos de tiro y en qué momento. El DT podría en tiempo real decir al tirador como realizar cada disparo jugando con el tiro sorpresa.

Como se ve hay una gran cantidad de posibilidades en este caso. Mientras más se piensa mas salen.

Existe una variable ante el tiro convencional, que sería tiro con munición no real, de manera que se ahorraría bastante en munición. Existen mecanismos que están preparados para actuar sobre el arma, de manera que el arma realiza un movimiento de retroceso como si fuera un disparo real.

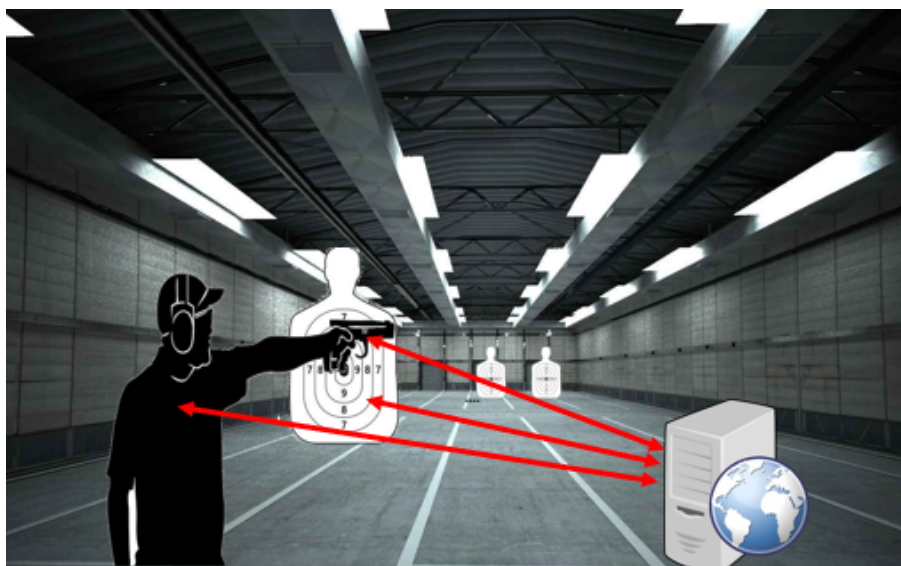


Figura 11. Prácticas de tiro

### 4.3.1 Criterios.

Vamos a simular un posible ejercicio dentro de este caso:

- Escenario: Galería de tiro.
- Geomorfología: Terrestre.
- Ejercicio: Tiro arma corta.
- Efectivos: Variable, a partir de 1 tirador, podrían tirar tantos como quepan en la línea de tiro.
- Acción humana: Si, militar.
- Peligrosidad: Medio, siempre es peligroso andar con armas de fuego, pero existe la posibilidad de usar munición no real, lo cual sería de peligrosidad baja.
- Apoyo: En este aspecto no habría apoyo.
- Fin de la operación: Al ejecutar los disparos fijados.
- Tiempo de reacción. Inmediato.

- Trabajo de DT: En este caso, el DT puede hacer un trabajo doble, en tiempo real o para mejorar los disparos en futuras prácticas. En el caso del tiempo real, como se ha explicado anteriormente el DT iría comunicando al tirador estado de constantes vitales, si el arma ha sufrido movimiento extraño y como ha sido el impacto, para poder corregirlo en el siguiente disparo.
- Tiempo necesario para simular: En principio no llevaría mucho tiempo para la realización de la configuración del DT, sólo hacer un buen diseño y sincronización de sensores y sistemas central.
- Tiempo de ejecución: El ejercicio de tiro en principio no dura mucho si se prorratea por cada persona. Se puede estimar que sería de una hora por tirador, aunque depende mucho de las diferentes variantes de cada tiro.
- Equipo técnico: En la tabla 13 pondremos el equipo técnico que necesitamos tanto en el entorno físico como en el entorno virtual.

ENTORNO FÍSICO	ENTORNO VIRTUAL
Sensores	Servidor
Gateway o central datos	Ordenadores
Equipos comunicación	Aplicaciones

Tabla 13. Equipo técnico caso 3

### 4.3.2 Modificaciones

En la figura 12 aparece una gráfica de cómo podría variar el caso estudiado.

Dentro del caso “Prácticas y entrenamientos” podemos encontrar diferentes escenarios, como pueden ser:

- En instalaciones propias. Aquí se podría diferenciar entre instalaciones cerradas o abiertas.
- En entornos naturales.

En este caso se ha elegido “Práctica de tiro”. Estaría ubicado en instalaciones propias cerradas. Pero puede existir otros ejercicios como pueden ser:

- Instrucción como combatiente general
- Transmisiones
- Armamento y material
- Conocimientos básicos de topografía
- Teoría elemental del tiro y tiro de instrucción básica inicial



Figura 12. Modificaciones "Prácticas y entrenamiento"

## 4.4 Misiones de Paz

Antes de empezar a explicar este caso, vamos a hacer una introducción explicando las diferentes organizaciones que nos podemos encontrar. Existen muchas organizaciones y tratados entre diferentes países que, aun teniendo un sentido pacífico, se pueden encontrar algunas diferencias según sus características. Pueden tener un grado mayor o menor en aspectos políticos, sociales, económicos o militares. Concretamente vamos a hacer un breve repaso de 3 de ellas, la ONU, la UE y la OTAN.

Las tres son instituciones con un gran poder a nivel internacional, pero presentan múltiples diferencias en sus funciones y en sus orígenes. Pese a ser tres instituciones con carácter internacional y relevantes en sus respectivos ámbitos, la OTAN, la ONU y la Unión Europea cuenta con múltiples diferencias, desde su origen hasta su método para proceder a la resolución de problemas y su peso en los conflictos internacionales.

### La ONU, con un perfil social marcado

En el caso de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), fundada en 1945, con sede en Nueva York y de la que forman parte 193 Estados, tiene un arraigado carácter social. Uno de los principales objetivos de Naciones Unidas pasa por hacer cumplir los derechos humanos, garantizar la paz y seguridad internacional, defender el derecho internacional y distribuir ayuda humanitaria en aquellos lugares donde sea necesario.

La ONU, a diferencia de la OTAN y de la Unión Europea, ejerce un papel de mediador en los conflictos internacionales. Con respecto a sanciones, a diferencia de la Unión Europea, es más influyente, al tener los instrumentos jurídicos necesarios para imponer restricciones a aquellos países que considera un peligro para la paz y seguridad global.



### **La OTAN, basada en la cooperación militar**

Si la ONU presenta un perfil más social, la OTAN cuenta con un perfil basado en la cooperación militar. La Alianza Atlántica, formada por 30 países en la actualidad, brinda apoyo militar a los países miembros que son atacados por otros países. Fundada en 1949 y con sede en Bélgica, en el artículo cinco de su Tratado explica que cada vez que uno de los países de la Alianza sea atacado, supondrá un ataque contra todos ellos, por lo que es obligatorio responder. La principal diferencia con respecto a la ONU es su forma de organización.

### **La UE, una entidad geopolítica formada por 27 países**

Por su parte, la Unión Europea es una entidad geopolítica que cubre buena parte del continente europeo. Es una asociación económica y política formada por 27 países con una moneda única. Entre sus funciones, destacan algunas como, por ejemplo, garantizar la seguridad, estabilidad y prosperidad de sus ciudadanos, así como el respeto de los derechos humanos.

Sin embargo, no cuenta con la capacidad sancionadora que sí dispone Naciones Unidas, y tampoco se trata de una organización de cooperación militar al uso como sí sucede con la OTAN. Muchos de los países miembros de la UE forman parte de la Alianza Atlántica, e incluso otros Estados como es el caso de Finlandia y Suecia, son considerados como aliados, pese a no formar parte de la organización.

Aunque sean diferentes organizaciones, hay un entendimiento a la hora de crear y diseñar las misiones. Las misiones de paz de la UE se diseñaron en línea con la OTAN. Además de las operaciones de mantenimiento de la paz aceptadas por la OTAN, estas incluyeron misiones militares de apoyo a la ayuda humanitaria o misiones de gestión de crisis y restablecimiento de la paz, siempre en coordinación con la OTAN. Según el artículo 43 del Tratado de la Unión Europea en su Título V [26], deben ser misiones relacionadas con:

- Desarme
- Misiones humanitarias y de rescate
- Misiones de asesoramiento y asistencia en cuestiones militares
- Misiones de prevención de conflictos y mantenimiento de la paz
- Misiones de fuerzas de combate para la gestión de crisis, incluidas las misiones de restablecimiento de la paz y de estabilización al término de los conflictos

El mantenimiento de la paz de las Naciones Unidas se rige por tres principios básicos:

- Consentimiento de las partes
- Imparcialidad
- No uso de la fuerza, excepto en legítima defensa y en defensa del mandato.

Una vez hecha la introducción, se va a hablar del posible DT a implementar. En este caso se va a hacer un ejercicio de Supervisión del cese de las hostilidades y contribución a garantizar el acceso humanitario a la población civil. Siempre que hay un conflicto entre países es complicado volver a la normalidad por motivos obvios de intereses. Para lograr esto, las organizaciones internacionales deben entrar a formar parte de la reestructuración de la zona con el principal fin de mantener la paz y enfriar el conflicto.



Concretamente, el ejercicio consiste en la observación de las zonas fronterizas entre los países enfrentados y el adiestramiento de las tropas locales. En la figura 13 aparece un posible escenario y como se podrían recoger datos para el DT. En ella aparece los efectivos que están desplegados en la zona. Se envían diversos datos al DT padre, desde los datos de cada soldado, hasta las imágenes y otros datos recogidos por el dron.

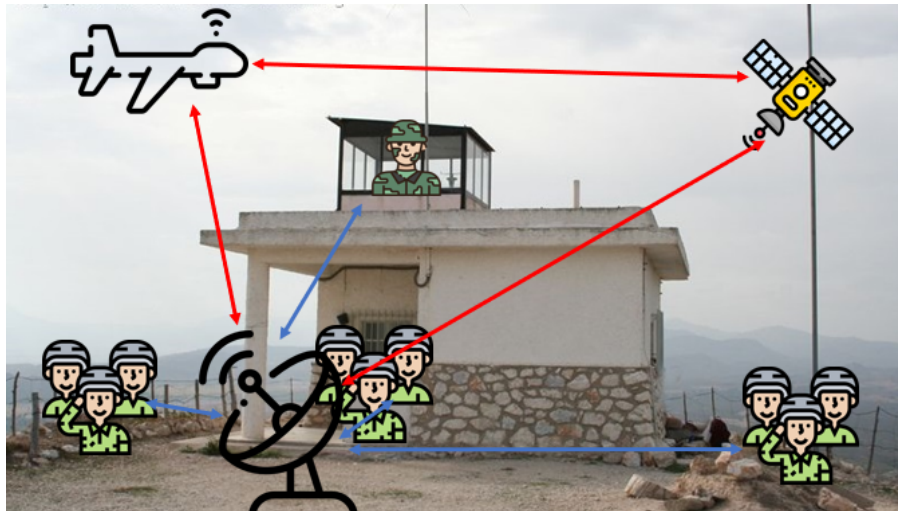


Figura 13. Observación frontera

#### 4.4.1 Criterios.

A continuación, se describirán los datos del ejercicio.

- Escenario: Frontera entre países.
- Geomorfología: Terrestre.
- Ejercicio: Observación frontera.
- Efectivos: Se colocarán por sectores diferentes efectivos, en este caso vamos a simular un sector con 10 efectivos.
- Peligrosidad: Medio. Aunque es una misión de paz, siempre hay un riesgo, sobre todo al principio de la transición, justo después del fin del conflicto.
- Apoyo: Podría haber apoyo de aeronaves de observación o drones ISR, que toman fotografías para ver los movimientos en la zona.
- Fin de la operación: En principio es una operación larga, una misión de paz suele durar varios años.
- Tiempo de reacción. Lento por defecto, aunque si crece la tensión puede pasar a inmediato, en caso de que haya que realizar algún trabajo en la zona.
- Trabajo de DT: El DT recibiría toda la información en imagen recolectada por las diferentes fuentes, así como por los sensores ubicados en los diferentes efectivos. Esta información se estudiaría para ver los posibles cambios en el tiempo, prever posibles subidas de tensión.
- Tiempo necesario para simular: Una vez este desplegado el ejercicio se empezaría a recolectar información.
- Tiempo de ejecución: El tiempo de ejecución sería durante toda la misión de paz.
- Equipo técnico: En la siguiente tabla pondremos el equipo técnico que necesitamos tanto en el entorno físico como en el entorno virtual.

ENTORNO FÍSICO	ENTORNO VIRTUAL
Sensores	Servidor
Tráiler Antena satélite	Ordenadores
Gateway o central datos	Aplicaciones
Equipos comunicación	

Tabla 14. Equipo técnico caso 4

### 4.4.2 Modificaciones

En la figura 14 aparece una gráfica de cómo podría variar el caso estudiado.

Dentro del caso “Misiones de paz” podemos encontrar diferentes ejercicios, como pueden ser:

- Desarme
- Misiones humanitarias y de rescate
- Misiones de asesoramiento y asistencia en cuestiones militares
- Misiones de prevención de conflictos y mantenimiento de la paz
- Misiones de fuerzas de combate para la gestión de crisis, incluidas las misiones de restablecimiento de la paz y de estabilización al término de los conflictos

Las zonas donde se pueden desarrollar estas misiones también pueden variar. Normalmente suelen llevarse a cabo en países del tercer mundo, que es donde más necesidad de control político, social y militar hay, pues no hay un entendimiento cívico básico para llegar a acuerdos mediante negociaciones verbales. Aunque si es cierto que puede ocurrir en cualquier parte del mundo.

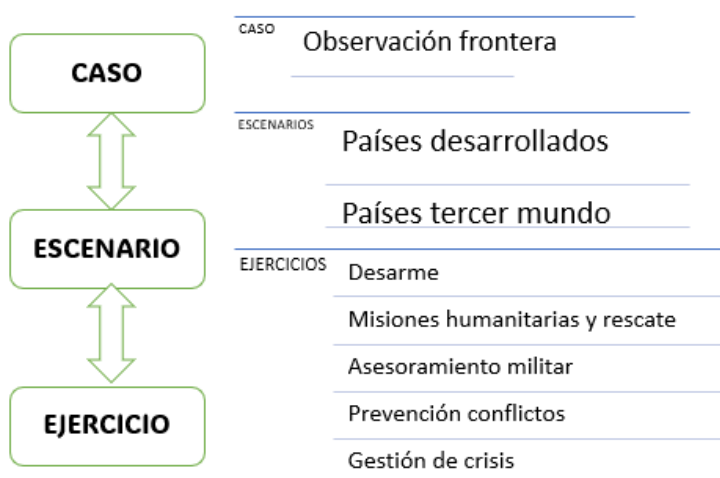


Figura 14. Modificaciones “Misiones de paz”

## 4.5 SONAR

El sonar (del inglés *SONAR*, acrónimo de *Sound Navigation And Ranging*, «navegación por sonido») es una técnica que usa la propagación del sonido bajo el agua principalmente para navegar, comunicarse o detectar objetos sumergidos.

El SONAR se utiliza también para desarrollar cartas náuticas, localizar peligros submarinos para la navegación, buscar y mapear objetos en el fondo marino, como naufragios, y mapear el fondo marino mismo. Hay dos tipos de sonar: activo y pasivo.

### **SONAR activo**

Los SONAR activo tienen transmisor y receptor. Los transductores de sonar activo emiten una señal acústica o un pulso de sonido en el agua. Si un objeto se encuentra en el camino del pulso de sonido, el sonido rebota en el objeto y devuelve un "eco" al transductor del sonar. Si el transductor está equipado con la capacidad de recibir señales, mide la intensidad de la señal. Al determinar el tiempo entre la emisión del pulso de sonido y su recepción, el transductor puede determinar el alcance y la orientación del objeto.

### **SONAR pasivo**

Los sistemas de sonar pasivos se utilizan principalmente para detectar ruido de objetos marinos (como submarinos o barcos) y animales marinos como las ballenas. A diferencia del sonar activo, el sonar pasivo no emite su propia señal, lo cual es una ventaja para embarcaciones militares que no quieren ser encontradas o para misiones científicas que se concentran en "escuchar" silenciosamente el océano. Más bien, sólo detecta las ondas sonoras que llegan hacia él. El sonar pasivo no puede medir el alcance de un objeto a menos que se utilice junto con otros dispositivos de escucha pasiva. Múltiples dispositivos de sonar pasivo pueden permitir la triangulación de una fuente de sonido y de esa manera calcular la distancia.

En este caso se va a desarrollar un DT que vigile la zona marítima de posibles submarinos no autorizados. En la figura 15 se puede ver cómo sería el escenario a estudiar. Tenemos una embarcación con un radar SONAR que recolecta los datos del fondo marino y los envía al DT mediante comunicación satélite.

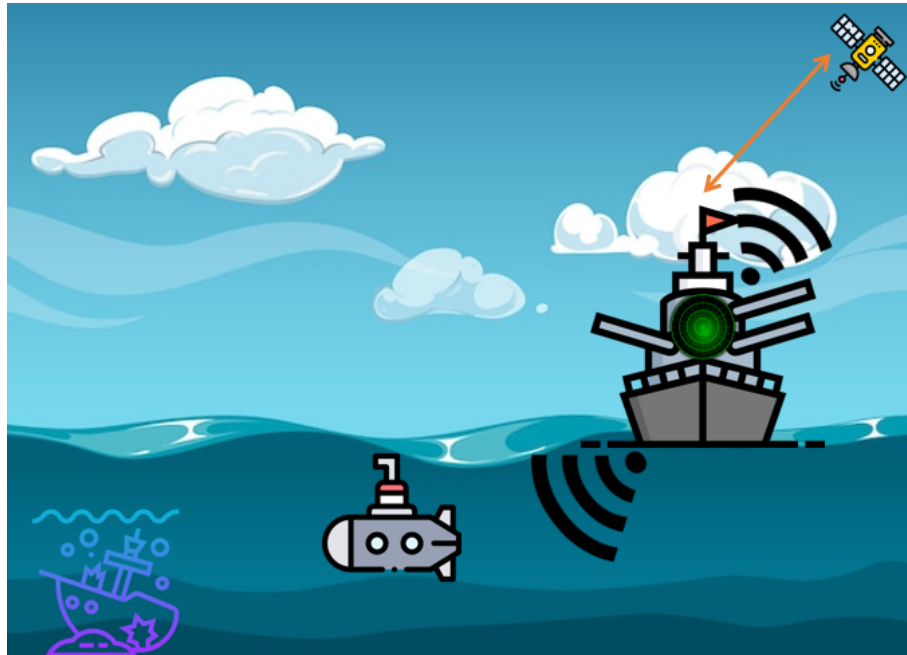


Figura 15. Sonar

#### 4.5.1 Criterios.

A continuación, se describirán los datos del ejercicio.

- Escenario: Océano.
- Geomorfología: Acuático.
- Ejercicio: Vigilancia submarina.
- Efectivos: En este caso se tendrá un barco con equipo SONAR y la correspondiente tripulación, aunque en principio, el DT trabajará en recibir y analizar la información recibida por el SONAR.
- Acción humana: Si, militar. Posibilidad de civiles especialistas o ingenieros.
- Peligrosidad: Baja. Al ser un ejercicio de vigilancia, la peligrosidad es baja.
- Apoyo: No necesita apoyo.
- Fin de la operación: La operación es continua en el tiempo, aunque se pueden establecer márgenes dentro del ejercicio.
- Tiempo de reacción. Lento, es un ejercicio continuo.
- Trabajo de DT: El DT recibiría la información de los diferentes datos tomados por el SONAR. Al estar en el océano, existe una gran cantidad de animales que van a aparecer, El DT debe ir almacenando todos los datos y junto con los archivados dentro de las mismas zonas debe ver que no hay nada extraño.
- Tiempo necesario para simular: Se empieza a simular una vez se van recogiendo los datos.
- Tiempo de ejecución: Es un ejercicio continuo, aunque se pueden distribuir por tramos de 24 horas, por ejemplo.
- Equipo técnico: En la tabla 15 pondremos el equipo técnico que necesitamos tanto en el entorno físico como en el entorno virtual.

ENTORNO FÍSICO	ENTORNO VIRTUAL
Sensores	Servidor
Antena satélite en embarcación	Ordenadores
Gateway o central datos	Aplicaciones
Equipos comunicación	

Tabla 15. Equipo técnico caso 5

## 4.5.2 Modificaciones

En la figura 16 aparece una gráfica de cómo podría variar el caso estudiado.

Dentro del caso "SONAR" no hay mucha variación.

Se podría hacer una clasificación de escenarios, de manera que se estudien diferentes zonas en diferentes momentos. Debido a la inmensidad de los mares y océanos, esta división vendría bien. También se podría dividir según la profundidad de los mismos.

Con la colaboración de equipos submarinos, se podrían hacer ejercicios simulando infiltraciones enemigas.

Otra modificación sería el estudio del fondo marino, tratando de tener un control de la diferente orografía marítima.

Igualmente puede ser útil para encontrar aeronaves o embarcaciones hundidas. Al tener unos datos almacenados de cómo es cada zona en el fondo marino, cualquier variación del retorno de las ondas quiere decir que hay algo que ha cambiado. Eso puede ser interesante en este aspecto.

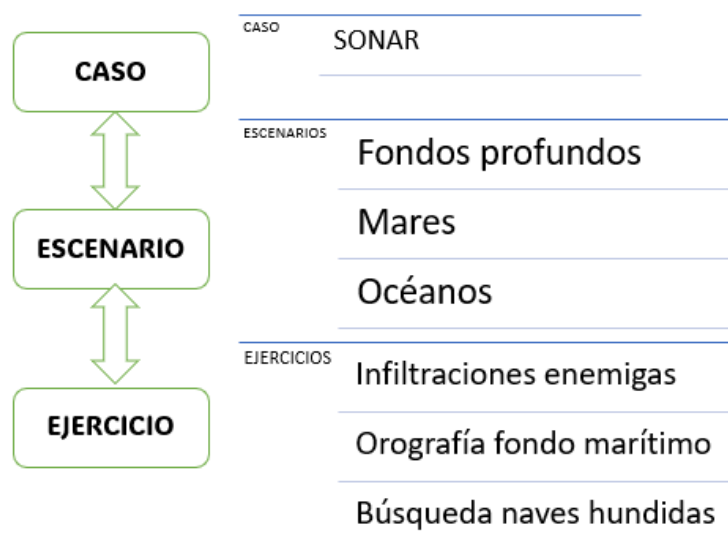


Figura 16. Modificaciones "SONAR"

## 4.6 Brigadas Aerotransportadas

Las Brigadas Aerotransportadas son unidades militares con una función diferente a la vez que peligrosa dentro de los ejércitos de infantería o fuerzas especiales en los diferentes países. Son unidades que pueden ser proyectadas rápidamente en diversos puntos de combate donde es complicado acceder por tierra.

Su principal función consiste en ser llevadas por una aeronave a un punto estratégico y realizar un salto en paracaídas para llegar al punto acordado. Al no poder llevar mucha carga, no tienen suministros para larga estancia, con lo que sería una incursión rápida y concisa, que evite el avance de los enemigos.

Puede haber diferentes tipos de fuerzas:

- Paracaidistas.
- Tropas aerotransportadas. No se tiran del avión, sino que son llevadas a un punto.
- Infantería aeromóvil o tropas de asalto aéreo.

El origen de estas tropas es en la Primera Guerra Mundial.

En la figura 17 se puede ver cómo sería el esquema en este caso. El ejercicio consistirá en un salto de una patrulla de soldados donde se puede medir las constantes vitales de los paracaidistas, la velocidad de estos, así como temperatura y caída. De esta manera se puede hacer un estudio con los datos recolectados en el DT para realizar mejoras en este tipo de ejercicios, ya sea en el uniforme, por las diferentes temperaturas según altura, como en la manera de llegar al suelo, evitando así posibles lesiones en los soldados. En este aspecto, los datos se recogerían con posterioridad, y se estudiarían después en el sistema central.



*Figura 17. Brigadas aerotransportadas.*

### 4.6.1 Criterios.

A continuación, se describirán los datos del ejercicio.

- Escenario: Aire.
- Geomorfología: Aérea.

- Ejercicio: Vigilancia submarina.
- Efectivos: Aeronave con patrulla de 4 soldados.
- Acción humana: Si, militar.
- Peligrosidad: Alta. Aunque sea un ejercicio rutinario, no deja de tener una alta peligrosidad, sobre todo en los primeros saltos.
- Apoyo: No necesita apoyo.
- Fin de la operación: Una vez los efectivos hayan realizado el salto y estén en sus posiciones finales.
- Tiempo de reacción. Medio, no es un ejercicio que necesite una respuesta inmediata, es sobre todo para estudiar los datos recogidos.
- Trabajo de DT: El DT recibiría la información de los diferentes sensores por parte de los soldados como del avión, según condiciones meteorológicas y del terreno y se estudiará la manera de mejorar para saltos futuros.
- Tiempo necesario para simular: Cuando se realice el primer ejercicio empezaría a simularse, pues sería la primera recogida de datos y a partir de cuándo se podrían estudiar los mismos.
- Tiempo de ejecución: Entre que empieza el ejercicio al montarse el ejercicio al montarse las tropas en la aeronave, hasta que se encuentran en el suelo puede pasar unas 3 horas aproximadamente.
- Equipo técnico: En la tabla 16 aparece el equipo técnico que necesitamos tanto en el entorno físico como en el entorno virtual.

ENTORNO FÍSICO	ENTORNO VIRTUAL
Sensores	Servidor
Antena satélite en tierra (opcional)	Ordenadores
Gateway o central datos (opcional)	Aplicaciones
Equipos comunicación	

Tabla 16. Equipo técnico caso 6

## 4.6.2 Modificaciones

En la figura 18 se puede ver las posibles modificaciones. En este caso se pueden estudiar diferentes tipos de saltos, en diferentes terrenos, con más o menos efectivos. Por otro lado, se puede jugar con la altura del lanzamiento, ya que según sea la altura, los militares tienen que llevar un equipo u otro. Por una parte, está la ropa, que será de un tipo u otro según la temperatura, y por otra parte está el equipo de oxígeno.

Se puede colocar en tierra un equipo de transmisión satélite para poder enviar los datos al sistema central si se ve oportuno el análisis de los datos para un posterior salto.

Hay muchos tipos de salto, vamos a diferenciar algunos que se pueden aplicar en entornos militares:

- En formación: cuando se lleva a cabo entre varios para realizar un ejercicio en grupo.
- De rescate: puede ser un ejercicio interesante simulando que a un compañero no se le abre el paracaídas y hay que ir a atraparlo.
- Con traje de alas: este tipo viene muy bien cuando se quiere llegar a una posición en concreto que en principio no se puede sin ellas. Las alas hacen que puedas planear y avanzar horizontalmente.
- Tándem: se realiza en los primeros saltos. Consiste en tirarse junto a un instructor especializado, de manera que no tienes que hacer nada.



## Saltos especiales

Al igual que en el resto de los saltos, estos saltos exigen mucha preparación y entrenamiento para efectuarlos de manera segura.

- **H.A.L.O.** (High Altitude, Low Opening): el paracaidista salta desde una aeronave a una altura superior a los 22.000 pies haciendo caída libre hasta alcanzar alturas por debajo de los 4.000 pies.
- **H.A.H.O.** (High Altitude, High Opening): típicamente el vuelo se realiza a una altura aproximada de 30.000 pies. En esta modalidad el paracaidista activa la apertura del paracaídas luego de 10-15 segundos de caída libre, abriendo la campana a unos 27.000 pies. Normalmente el paracaidista lleva un GPS para navegar hasta su punto de destino.
- **L.A.L.O.** (Low Altitude, Low Opening): en esta modalidad la aeronave vuela una altura muy baja, por lo que los paracaidistas deben abrir el paracaídas de forma inmediata y aterrizan en muy poco tiempo.

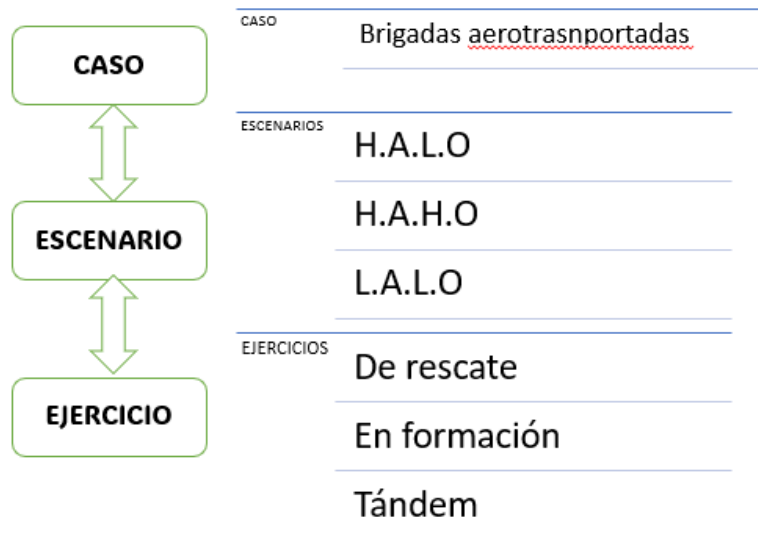


Figura 18. Modificación "Brigadas aerotransportadas"

## 4.7 Drones ISR

ISR son las iniciales de Intelligence, Surveillance and Reconnaissance en inglés y es un proceso para obtener información y procesarla en determinadas situaciones.

El proceso ISR está definido [27] como un proceso de coordinación a través del cual las disciplinas de recopilación de inteligencia, las capacidades de recopilación y las actividades de explotación proporcionan datos, información e inteligencia de fuente única para abordar una información o requerimiento de inteligencia, en un marco de tiempo deliberado, ad hoc o dinámico en apoyo de la planificación y ejecución de operaciones. El proceso ISR consta de cinco pasos: tarea, recopilación, procesamiento, explotación y difusión.



La fase de recopilación del proceso ISR es responsable de recopilar datos de sensores y activos heterogéneos y, por lo tanto, cubre múltiples disciplinas de inteligencia. De acuerdo a [27] las disciplinas de recopilación de inteligencia incluyen:

- Los resultados de la Inteligencia Acústica incluyen la recopilación y explotación de señales o emisiones acústicas.
- Los resultados de Inteligencia Humana se basan en información recopilada y proporcionada por fuentes humanas.
- Los resultados de Imagery Intelligence se basan en la recopilación, el procesamiento y la explotación de secuencias de imágenes.
- Los resultados de Measurement and Signature Intelligence se basan en la recopilación de información científica y técnica con el fin de obtener rasgos distintivos y diferenciadores.
- Los resultados de Open Source Intelligence se basan en información disponible abiertamente o de acceso restringido.
- Signals Intelligence ofrece resultados mediante la recopilación y explotación de señales o emanaciones electromagnéticas. Las principales subcategorías de SIGINT son la inteligencia de comunicaciones y la inteligencia electrónica.

En nuestro caso nos centraremos en imágenes SAR (Synthetic Apertur Radar) y MTI (Moving Target Indicator).

Los drones tienen un sensor que puede hacer fotografías a grandes distancias y con un ángulo sobre la vertical bastante amplio, lo que permite coleccionar imágenes de territorios sin la necesidad de sobrevolar los mismos. Una imagen de radar tiene información sobre dos cosas: La estructura de los objetos en la superficie y Las propiedades dieléctricas de la superficie. Las características de la señal retrodispersada (reflejada) está influenciada por parámetros del radar y por parámetros de la superficie terrestre. Existen tres parámetros del radar que tienen una influencia sobre las características de la señal retrodispersada: Longitud de onda, Polarización y Ángulo de incidencia.

En cuanto a MTI, es una forma de radar que se utiliza para distinguir objetos de interés en movimiento del fondo y objetos estacionarios no relevantes. Utiliza el efecto Doppler para medir el cambio de fase de los pulsos de ondas de radio reflejados: los objetos que se mueven harán que la frecuencia de los pulsos reflejados cambie, mientras que los pulsos de los objetos que permanecen quietos no experimentarán cambios y se pueden filtrar. Esto puede extender el trabajo en [47].

En la figura 19 se puede ver como sería la estructura del escenario estudiado, una vez recogidos los datos, se pasarían al Sistema Central, donde se encuentra el DT y se explotarían.

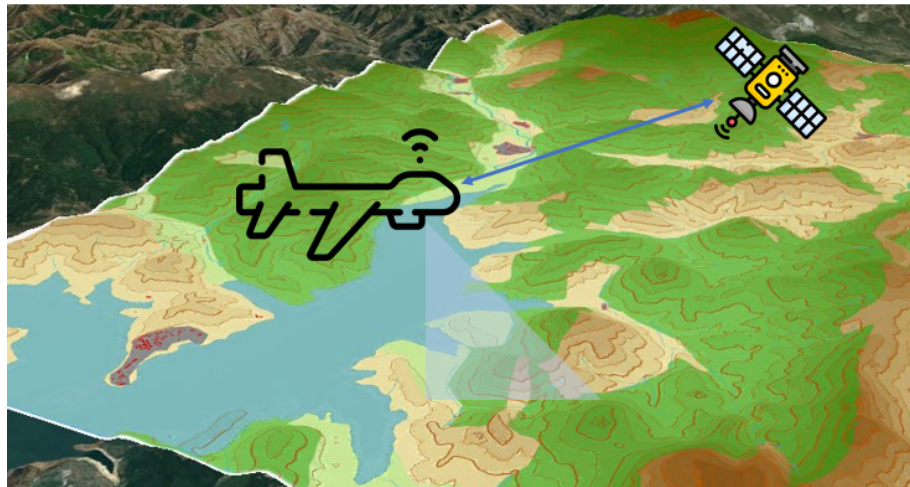


Figura 19. Drones ISR

### 4.7.1 Criterios.

A continuación, se describirán los datos del ejercicio.

- Escenario: Aire-Tierra.
- Geomorfología: Aérea.
- Ejercicio: ISR.
- Efectivos: Aeronave no tripulada (Drene). Efectivos en Tierra que manejan la aeronave.
- Acción humana: Puede ser que no sea necesaria en caso de que solo vuele el dron.
- Peligrosidad: Baja.
- Apoyo: Apoyo desde tierra, donde los pilotos y operadores de sensor trabajan.
- Fin de la operación: Cuando se recopilen las imágenes SAR y MTI acordados.
- Tiempo de reacción. Lento.
- Trabajo de DT: El DT recibe las imágenes y los MTI y los estudia, comparándolo con el trabajo de otros momentos, de manera que puede comprobar que es lo que ha ido cambiando en cada momento, que efectivos enemigos han cambiado de posición, si se han acumulado en un punto o si se están moviendo hacia una zona. Eso haría predecir que puede existir un ataque.
- Tiempo necesario para simular: Una vez se empieza a recolectar información, ya se puede empezar a trabajar con ella.
- Tiempo de ejecución: Tiempo variable. El vuelo puede durar desde 8 a 24 horas, según la información a coleccionar.
- Equipo técnico: En la tabla 17 aparece el equipo técnico que necesitamos tanto en el entorno físico como en el entorno virtual.

ENTORNO FÍSICO	ENTORNO VIRTUAL
Sensor	Servidor
Antena satélite en dron	Ordenadores
Equipo de datos en dron	Aplicaciones
Equipos comunicación	

Tabla 17. Equipo técnico caso 7

## 4.7.2 Modificaciones

En la figura 20 se pueden ver las modificaciones. En este caso se puede modificar tanto la zona a vigilar como el terreno. Se puede vigilar zonas de mar o de tierra. Incluso se puede detectar las aeronaves que viajan más bajo que el dron. Un dron al no llevar tripulación puede volar hasta 20000 metros de altura. En el caso de los MTI se podrían dividir en GMTI y MMTI (Ground and Maritime) donde se recolectan coordenadas de objetivos en movimiento en tierra, como tanques o carros de combate y en mar, como barcos. En caso de ejercicios, se podría diferenciar entre imágenes SAR, MTI o mixto.

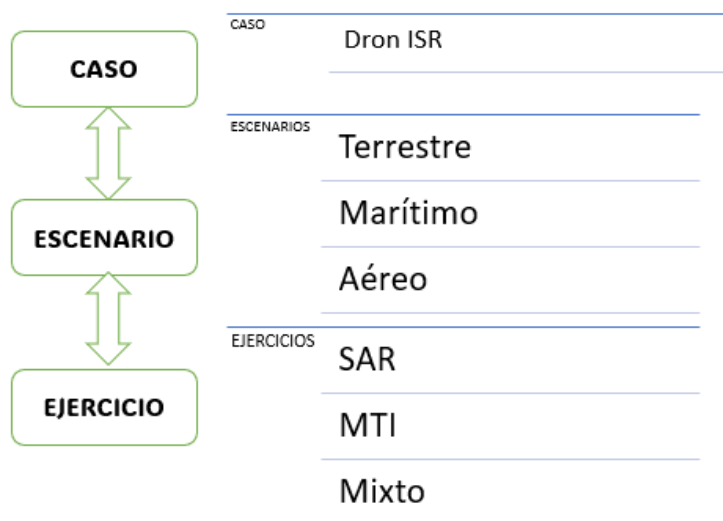


Figura 20. Modificaciones "Drones ISR"

## 4.8 Extinción de incendios forestales

En algunos países, existe una responsabilidad por parte de las fuerzas armadas de luchar contra los incendios forestales. Por una parte, puede existir un batallón solo para intervenir en cualquier lugar del territorio nacional, para contribuir a la seguridad y bienestar de los ciudadanos en los supuestos de grave riesgo, catástrofe, calamidad u otras necesidades públicas. Esto incluiría la extinción de incendios. Otra opción es tener una escuadrilla de aviones anfibios que pueden cargar agua en sus depósitos aterrizando previamente en tierra o directamente en lagos, ríos, embalses o el mar.

Este caso es muy importante debido a la cantidad de fuegos que hay en el mundo y que están acabando con los bosques, tan necesarios para la vida del planeta.

Un modelo de estos aviones puede ser el Canadair CL-215, que se puede ver en la figura 21. la aeronave tiene una capacidad de 5346 l de agua (12 000 libras), repartidos en dos depósitos ubicados dentro de la bodega. También cuenta con dos depósitos de 300 l cada uno para almacenar el retardante ignífugo. El agua puede recogerse durante el amerizaje

mediante dos sondas retráctiles montadas tras el rediente de la quilla, operación que debe hacerse en movimiento, mientras el avión navega sobre la superficie del agua a unos 60-70 nudos. Esto permite el completo llenado de los depósitos en tan sólo 12 segundos, para lo que se necesita una distancia de entre 2000 y 3500 pies, dependiendo de factores variables como las condiciones del viento, el peso de la aeronave o la altitud de la zona de amerizaje. El área para la carga de agua debe tener una profundidad mínima de 120 centímetros, y en el caso del mar no es seguro realizar la maniobra con olas de más de un metro de altura. Tras el despegue, el avión vuela hacia la zona del incendio, donde lanza la totalidad de la carga en menos de un segundo. La operación se repite hasta que se logra controlar o extinguir el fuego. En la mayoría de los casos, puede arrojarse una carga por lo menos cada diez minutos. Inspirado por el desarrollo de [49], este caso de uso complementa para situaciones de emergencia.

El DT de este caso es muy interesante, pues mediante una serie de sensores dentro del avión puede recoger una serie de datos, los cuales se estudiarán en el DT y comprobar si se pueden mejorar a la hora de ejercicios futuros. Se puede saber en que lugares se puede recoger agua, mediante las coordenadas GPS, que cantidad de agua es optimo para la recarga, medición de los niveles de los depósitos, sensorización de la estructura del avión, lo cual es muy interesante, debido a que el avión soporta unas fuerzas y peso diferentes por su trabajo en el agua, así como la corrosión por la recogida de aguas saladas.

En la imagen 22 se puede ver como sería la estructura de este caso.



*Figura 21. Canadair CL-215*



Figura 22. Extinción de incendios forestales

#### 4.8.1 Criterios.

A continuación, se describirán los datos del ejercicio.

- Escenario: Aire-Tierra-Agua.
- Geomorfología: Aérea.
- Ejercicio: Extinción de incendios forestales.
- Efectivos: Aeronave Anfibia, tripulación.
- Acción humana: Si, militar. Posibilidad de civiles de apoyo como pueden ser bomberos especialistas.
- Peligrosidad: Media. Este ejercicio tiene una peligrosidad añadida, pues los aviones, al cargar y descargar agua, son más difíciles de controlar que en condiciones normales
- Apoyo: Apoyo desde tierra con comunicaciones, controlando las coordenadas y posición de fuego y otros efectivos. Por otra parte, existirán efectivos en tierra que medirán temperatura, humos, calidad de aire etc.... y se enviará al DT padre.
- Fin de la operación: Cuando se extinga el fuego.
- Tiempo de reacción. Inmediato, debe haber una gran coordinación con los responsables del ejercicio para tener claro donde se puede recoger agua y donde se puede soltar, de manera que sea efectiva la extinción y que ningún equipo en tierra sufra accidentes.
- Trabajo de DT: El DT recibe datos del avión, litros que recoge en cada momento, coordenadas del avión en cada momento, datos de estructura, calidad de aire en cada momento, de manera que se puede saber como afecta el incendio a las inmediaciones y si se debe abandonar pueblos o viviendas cercanas por peligro a personas.
- Tiempo necesario para simular: El tiempo va en función de la recolección de los datos. Debido a la peligrosidad del ejercicio puede ser que no sea fácil recoger los datos en situación real.
- Tiempo de ejecución: Tiempo variable, según dure el incendio a extinguir.
- Equipo técnico: En la tabla 18 se puede ver el equipo técnico que necesitamos tanto en el entorno físico como en el entorno virtual.

ENTORNO FÍSICO	ENTORNO VIRTUAL
Sensores	Servidor
Servidor datos en aeronave	Ordenadores
	Aplicaciones

Tabla 18. Equipo técnico caso 8

## 4.8.2 Modificaciones

En la figura 23 se pueden ver las modificaciones. Se puede distinguir si los incendios se desarrollan en ambientes exclusivamente forestales o si también existe población. En este aspecto hay que tener especial precaución, pues puede correr peligro la vida de personas inocentes. En cuanto a los ejercicios podrían ser de extinción o de training, para entrenar en momentos de baja afluencia de incendios.

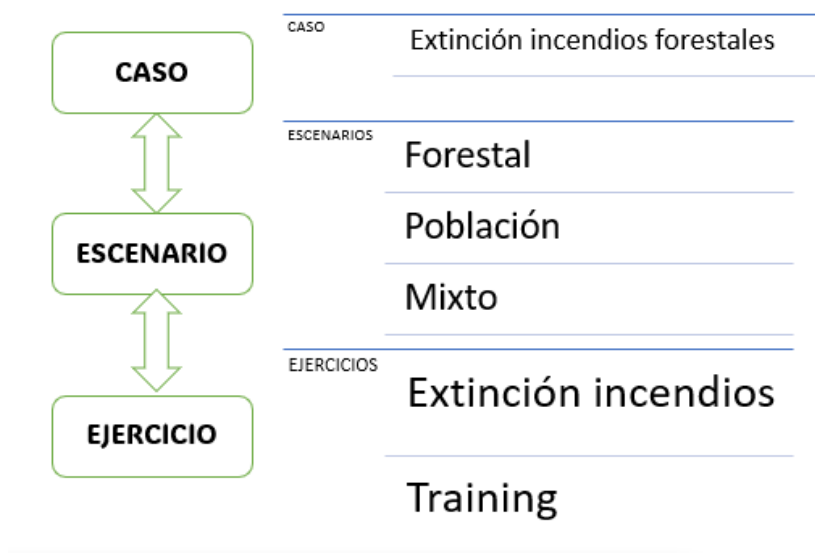


Figura 23. Modificaciones "Extinción de incendios forestales"

## 4.9 Estudio viabilidad

A continuación, en la tabla 19 se puede ver como ha quedado la puntuación del 1 al 5 sobre diferentes inputs que hemos creído conveniente en cuanto a costes, esfuerzo e importancia, para definir cuál de los diferentes casos conllevaría más esfuerzo a la hora de su implementación. Siendo el 1 una puntuación muy baja y el 5 una puntuación muy alta.



CASOS	Campo de batalla	SAR	Prácticas y entrenamientos	Misiones de Paz	SONAR	Brigadas Aerotransportadas	Drones ISR	Extinción de incendios
Tiempo diseño	4	4	2	3	2	3	4	4
Capital invertido	3	3	2	3	3	3	4	3
Coste formación personal	3	4	3	3	4	4	5	4
Coste simulación	4	4	2	4	3	2	5	3
Dificultad de implementación	4	2	2	3	3	2	4	3
Efectivos necesarios	5	3	2	4	3	4	4	3
Importancia datos	4	5	4	4	4	4	5	5
Coste total	10	11	7	10	10	9	14	10
Puntuación total(Inversa)	4	4	2	3	2	3	4	4

Tabla 19. Puntuación casos

De esta tabla salen las dos siguientes gráficas:

En la gráfica de la tabla 20 se puede ver una relación esfuerzo, importancia, tomando esfuerzo como la dificultad de llevar a cabo cada caso, según la puntuación de la tabla 19. De esta tabla sacamos lo siguiente en claro:

- En este aspecto las tres aplicaciones que tendrían una mayor importancia, aunque un mayor esfuerzo sería el caso 2, el caso 7 y el caso 8.
- Hay dos casos que tienen relación esfuerzo/importancia algo mejor, que serían el caso 4 y el caso 6.
- Por último, podríamos decir que los dos casos que tienen la mejor relación esfuerzo/importancia serían el caso 3 y el caso 5.

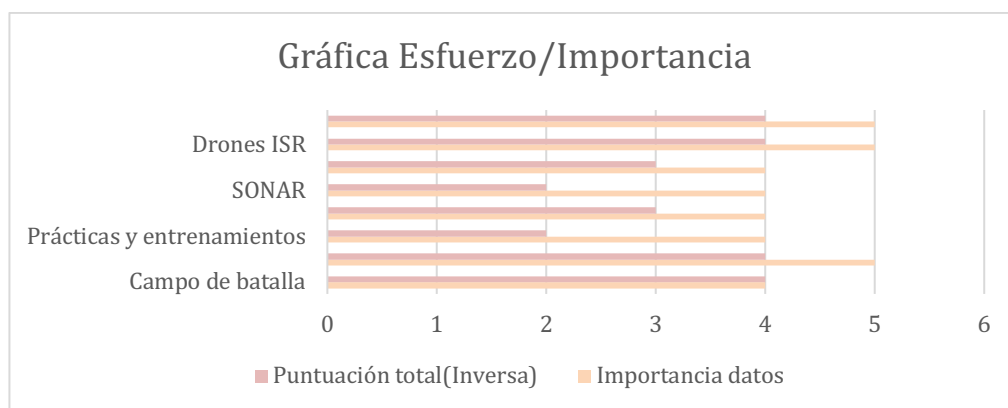


Tabla 20. Relación Esfuerzo/Importancia

En la gráfica de la tabla 21 se puede ver cómo es la relación Costes totales/ importancia según la puntuación de la tabla 19. Podemos apreciar lo siguiente:

- El caso mas costoso sería el caso 7, aunque también es cierto que es de los que más importancia tienen.
- El segundo caso mas costoso sería el caso 2 con una muy buena puntuación en importancia.
- Los siguientes casos más costosos serían los casos 1, 4, 5 y 8. De estos 4 casos, el 8 tiene algo de ventaja en importancia, habiendo un empate entre los otros 3.
- El caso 6 estaría en la penúltima posición en cuanto a costes, pero con muy buena importancia.
- Finalmente tenemos al caso 3, el menos costoso, aunque de los que tienen menos puntuación en importancia, empatado a puntos con otros 4.

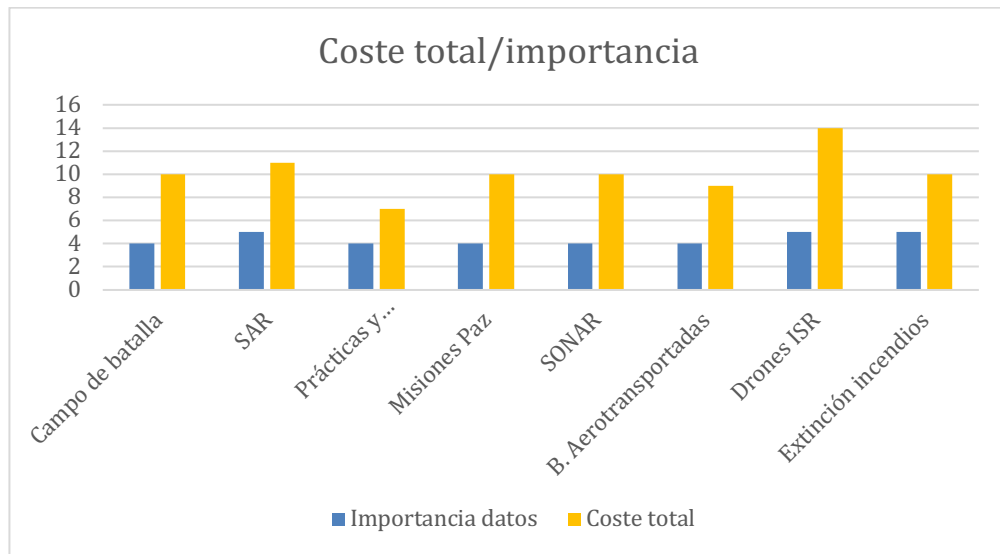


Tabla 21. Relación Coste total/importancia



## 5 Conclusión

Para concluir, se hará un breve resumen de lo que se ha realizado en este trabajo.

En primer lugar, se ha realizado una introducción donde se ha explicado la justificación y los objetivos del trabajo, así como la metodología y la planificación del mismo.

Cumpliendo con los objetivos, se ha realizado una profunda investigación donde se han comentado los avances hasta el momento de la tecnología DT en algunos de los mas importantes sectores, incluyendo los avances realizados en el tema que se estudia en este trabajo.

Continuando con el apartado de preparación del DT se han desarrollado los criterios que se van a tener en cuenta a la hora de la creación de los casos de DT, los elementos que los componen y las fases por las que pasa todo DT para su puesta en funcionamiento. Con este apartado también se han alcanzado algunos de los objetivos planteados.

Finalmente se han planteado una serie de casos teniendo en cuenta los criterios del punto anterior a la vez que se han añadido una serie de figuras, tablas, esquemas y gráficas que sin duda harán que se comprenda mejor la idea planteada.

Alcanzados los objetivos específicos propuestos al inicio del proyecto, se puede llegar a la conclusión de que el objetivo general del Trabajo Fin de Máster se cumple de forma satisfactoria.

Una vez desarrollado el proyecto, se han descubierto líneas de investigación con las que se puede mejorar y ampliar el espectro del problema. A continuación, se enumeran algunas de ellas:

- Sería conveniente la creación de ciertos protocolos o estándares de la tecnología DT para poder llevar a la realidad los casos planteados.
- Existe una amplia variedad de elementos técnicos que se podrían utilizar, sería necesario profundizar en sus características y compatibilidad para la construcción del sistema.
- En el caso de las comunicaciones también habría que elegir cuales serían las ideales, teniendo en cuenta la relación funcionalidad/precio, ya que a veces no es necesario escoger la mas cara y potente, pues es necesario con otra más asequible.
- Es necesario un convenio entre diferentes países o diferentes empresas para llevar esta tecnología a la realidad, juntando las fuerzas de todos se puede conseguir, aunque después cada uno lo aplique a su manera.

Podemos considerar que junto a este estudio de implantación de DT en militares podemos tener en cuenta qué tecnología se emplearía para la transmisión, para ello referimos al lector a trabajos en el campo de non coherente [45][46][50][51][54] y comunicaciones por satélites [39] que ayudarían a esta implementación. También es importante para ciberseguridad y aplicación en detección de vulnerabilidades [48] o ayudado de tecnologías IoT para aplicaciones dentro del campo civil de Smart Cities que mezcla con entornos tácticos y puedan proteger estas aplicaciones como [42][44][53].

Podemos decir que existen medios suficientes para llevar a la realidad esta idea, aunque no es fácil, existen algunas dificultades. A continuación se redactan algunos pros y contras de los casos de uso estudiados.

### **Pros**

- Se tiene DT's de diferentes escenarios donde puede existir conflictos y donde exista aspectos necesarios a trabajar o entrenar.
- Se puede cambiar los parámetros dentro de los diferentes escenarios en cada caso.
- Se puede añadir o quitar entidades de manera que se adapte a las condiciones de cada situación.
- Se puede trabajar sobre diferentes terrenos, al cambiar el background del escenario.
- Se puede trabajar en situación real, de ese modo ante cualquier duda de cómo actuar, se puede probar diferentes acciones para ver cuál sería ideal.
- Cada vez que se realice un ejercicio, se guarda la información en base de datos, de manera que mediante inteligencia artificial se puede ver los diferentes resultados según la experiencia.
- Se puede prever situaciones futuras y poder adelantarse a ellas.
- Dentro de cada caso y escenario, se puede realizar diferentes ejercicios.

### **Contras**

Las principales dificultades de este escenario son las siguientes:

- Se debe trabajar en el diseño previamente, de manera que se deben realizar diferentes ejercicios o maniobras para implementar el DT, así como dar unas bases o conocimientos al sistema virtual.
- Según los escenarios a trabajar habrá situaciones de difícil acceso para vehículos o problemas de comunicación.
- Los comienzos de la implantación son difíciles, tanto por el tema económico como por el tema técnico. Se necesita formación para los ingenieros o diseñadores y para todo el personal implicado en el proyecto, ya que se necesita un aprendizaje profundo de todos los elementos y equipos técnicos para poder trabajar adecuadamente y que el sistema sea eficaz. Por otra parte, se necesita también presupuesto para el material.

## 6 Glosario

ATDTEM: Aplicación de la Tecnología Digital Twin en Entornos Militares

TF: Trabajo Final

TFM: Trabajo Fin de Máster

DT: Digital Twin

DT's: Digital Twins

UOC: Universidad Oberta de Catalunya

PLM: Product Lifecycle Management

PEC: Prueba Evaluación Continua

ODS: Objetivos de Desarrollo sostenible

OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte

ONU: Organización de Naciones Unidas

UE: Unión Europea

SONAR: Sound Navigation And Ranging

H.A.L.O.: High Altitude, Low Opening

H.A.H.O.: High Altitude, High Opening

L.A.L.O.: Low Altitude, Low Opening

ISR: Intelligence, Surveillance and Reconnaissance

SAR: Synthetic Aperture Radar

MTI: Moving Target Indicator

SIGINT: Signature Intelligence

GMTI: Ground MTI

MMTI: Maritime MTI

## 7 Bibliografía

- [1] NASA. B. Barricelli, E. Casiraghi, D. Fogli, A Survey on DT: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications, Accessed: Oct. 20, 2023. [Online].
- [2] Expansión. DT: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (Excerpt). Accessed: Nov. 16, 2023. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/307509727\\_Origins\\_of\\_the\\_Digital\\_Twin\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept)
- [3] M. Grieves, J. Vickers, DT: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, Accessed: Oct. 21, 2023. [Online]. [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=0gGMvvgkAAAAJ&citation\\_for\\_view=0gGMvvgkAAAAJ:3fE2CSJlrl8C](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=0gGMvvgkAAAAJ&citation_for_view=0gGMvvgkAAAAJ:3fE2CSJlrl8C)
- [4] Jiaju Wu; Yonghui Yang; XUN Cheng; Hongfu Zuo; Zheng Cheng, The Development of DT Technology Review, Accessed: Nov. 16, 2023. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9327756>
- [5] Nils Wantia, Jürgen Roßmann, An Online Task Planning Framework Reducing Execution Times in Industrial Environments, Accessed: Nov. 16, 2023. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7939185>
- [6] Paolo Bellavista; Carlo Giannelli; Marco Mame et al, Application-Driven Network-Aware DT Management in Industrial Edge Environments, Accessed: Nov. 16, 2023. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9382113>
- [7] Jiqing Cao, Research on operation and maintenance management of equipment under intelligent manufacturing, Accessed: Nov. 20, 2023. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8243701>
- [8] Tolga Erol, Arif Furkan Mendi, Dilara Doğan, The DT Revolution in Healthcare, Accessed: Nov. 22, 2023.. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9255249>
- [9] Arif Furkan Mendi; Tolga Erol; Dilara Doğan, DT in the Military Field, Accessed: Nov. 20, 2023.. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9345490>
- [10] Jun Zhang, Lin Li, Guanjun Lin, Cyber Resilience in Healthcare DT on Lung Cancer, Accessed: Nov. 20, 2023.. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9241785>
- [11] Jörn Thieling, Manuel Mathar, Jürgen Rossmann, Automated generation of virtual road scenarios for efficient tests of driver assistance systems, Accessed: Nov. 23, 2023. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9241785>
- [12] M. Braglia, R. Gabrielli, M. Frosolini, Using RFID technology and Discrete-Events, Agent-Based simulation tools to build Digital-Twins of large warehouses, Accessed: Nov. 23, 2023. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8892254>
- [13] John E. Taylor, Neda Mohammadi, Smart cities DT, Accessed: Nov. 25, 2023.. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8285439>
- [14] Serguéi Ivanov, Gleb Rádchenko, Leonid Sokolinsky et al, DT of City: Concept Overview, Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9267879>

- [15] Markus Kuller; Fabian Kohlmorgen; Nursi Karaođlan et al, Conceptual design of a DT based on semantic web technologies in the smart home context, Accessed: Nov. 25, 2023.. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9337749>
- [16] Xiao Chang; Xiaoliang Jia, A DT-enabled Framework for Aircraft Overhaul Process with Smart Analytics Approach from Product Lifecycle Data, Accessed: Nov. 25, 2023.. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10292110>
- [17] Jörn Thieling, Manuel Mathar, Jürgen RossmannDT as a Decision Support Tool for Airport Traffic Control, Accessed: Nov. 25, 2023.. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9259294>
- [18] A. A. Olad, O. Fatahi Valilai, Using of Social Media Data Analytics for Applying DT in Product Development, Accessed: Nov. 27, 2023.. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9309834>
- [19] Xiao Fei, Qian Fengchen, Su Bing, Fan Yuzhu, DT of Solid Rocket Motor, Problem and Challenge, Accessed: Nov. 27, 2023.. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8695510>
- [20] University of the Bundeswehr Munich, Sensor Systems for an Intelligent World, Accessed: Dic. 12, 2023.. [Online]. <https://www.unibw.de/sens-en/projects/background-objectives>
- [21] Invoxia, Localizador inalámbrico, Accessed: Dic. 12, 2023.. [Online]. <https://www.invoxia.com/es/home>
- [22] Move solutions, Inclínómetro inalámbrico, Accessed: Dic. 12, 2023.. [Online]. <https://www.invoxia.com/es/home>
- [23] Decentlaba, DL-IAM Datasheet, Accessed: Dic. 12, 2023.. [Online]. [https://www.catsensors.com/media/Decentlab/Productos/IAM\\_interior/DL-IAM-datasheet.pdf](https://www.catsensors.com/media/Decentlab/Productos/IAM_interior/DL-IAM-datasheet.pdf)
- [24] Samsung, Galaxy watch 4 specifications, Accessed: Dic. 12, 2023.. [Online]. <https://www.samsung.com/global/galaxy/galaxy-watch4/specs/>
- [25] Veepeak, OBDCheck BLE+ Datasheet, Accessed: Dic. 12, 2023.. [Online]. <https://drive.google.com/file/d/1wwD7pdfEAToGsWpa0fXQQRFlsEIOL4x/view>
- [25] MANTIS, Mantis X10 Elite, Accessed: Dic. 12, 2023.. [Online]. <https://mantisx.com/collections/all-items/products/mantis-x10-elite>
- [26] Diario Oficial de la Unión Europea, Versión consolidada del tratado de la Unión Europea, Accessed: Dic. 15, 2023.. [Online]. <https://www.boe.es/doue/2010/083/Z00013-00046.pdf>
- [27] Aleš Novák; Ladislav Buřita, Business Intelligence and ISR Data Processing , Accessed: Dic. 15, 2023.. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8870135>
- [28] Naciones Unidas, Objetivos de desarrollo sostenible, Accessed: Oct. 1, 2023.. [Online]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [29] Alfredo BALLESTER; Marta VALERO; Beatriz NÁCHER et al, 3D Body Databases of the Spanish Population and its Application to the Apparel Industry, Accessed: Dic. 30, 2023.[Online]. [https://www.researchgate.net/publication/283326799\\_3D\\_Body\\_Databases\\_of\\_the\\_Spanish\\_Population\\_and\\_its\\_Application\\_to\\_the\\_Apparel\\_Industry](https://www.researchgate.net/publication/283326799_3D_Body_Databases_of_the_Spanish_Population_and_its_Application_to_the_Apparel_Industry)
- [30] Aeronaves Militares Españolas, Eurofighter, Accessed: Dic, 22, 2023. [Online]. <https://aeronavesmilitaresespanolas.com/eurofighter/>

- [31] Ministerio de Defensa, Buque anfibio portaerones 'Juan Carlos I' (L-61), Accessed: Dic, 22, 2023. [Online]. <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenos especiales/prefLang-es/05actividades--95trident--02unidades>
- [33] Ministerio de Defensa, Leopardo 2E, Accessed: Dic, 22, 2023. [Online]. <https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/Armamento pesado veh combate/LEOPARDO 2E5.html>
- [34] Aeronaves Militares Españolas, MQ-9 Predator B, Accessed: Dic, 22, 2023. [Online]. <https://aeronavesmilitaresespanolas.com/mq-9-predator/>
- [35] Ministerio de Defensa, HK G-36, Accessed: Dic, 22, 2023. [Online]. <https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/armamento ligero/FUSIL-G36E.html>
- [36] Ministerio de Defensa, Taurus KEPD 350, Accessed: Dic, 22, 2023. [Online]. <https://defensaytecnologia.blogspot.com/2015/10/misil-crucero-aurus-kepd-350.html>
- [37] Armas Españolas, Rheinmetall DM53 antitanque, Accessed: Dic, 22, 2023. [Online]. <https://www.armas.es/foros/viewtopic.php?t=306199&start=370>
- [38] Tarazona Lizarraga, C. Análisis de las Necesidades de una Smart City en el Marco de un Desarrollo Sostenible; Universitat Oberta de Catalunya: Barcelona, Spain, 2020.
- [39] V. M. Baeza, V. N. Ha, J. Querol and S. Chatzinotas, "Non-coherent massive MIMO integration in satellite communication," 39th International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC 2022), Stresa, Italy, 2022, pp. 200-205, doi: 10.1049/icp.2023.1386
- [40] V. M. Baeza and L. C. Salor, "New horizons in tactical communications: An overview of emerging technologies possibilities," in IEEE Potentials, vol. 43, no. 1, pp. 12-19, Jan.-Feb. 2024, doi: 10.1109/MPOT.2023.3297326.
- [41] Concha Salor, L.; Monzon Baeza, V. Harnessing the Potential of Emerging Technologies to Break down Barriers in Tactical Communications. Telecom 2023, 4, 709-731. <https://doi.org/10.3390/telecom4040032>
- [42] Alcántara Suárez, E.J.; Monzon Baeza, V. Evaluating the Role of Machine Learning in Defense Applications and Industry. Mach. Learn. Knowl. Extr. 2023, 5, 1557-1569. <https://doi.org/10.3390/make5040078>
- [43] L. C. Salor y V. M. Baeza, "Análisis y casos de uso de las comunicaciones 5G para entornos tácticos," 2021.
- [44] J. L. M. Puyol and V. M. Baeza, "Bicycle Sharing System Using an IoT Network," 2021 Global Congress on Electrical Engineering (GC-ElecEng), Valencia, Spain, 2021, pp. 131-135, doi: 10.1109/GC-ElecEng52322.2021.9788465.
- [45] V. M. Baeza and A. G. Armada, "Performance and Complexity Tradeoffs of Several Constellations for Non Coherent Massive MIMO," 2019 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), Lisbon, Portugal, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/WPMC48795.2019.9096091.
- [46] V. M. Baeza, A. G. Armada, W. Zhang, M. El-Hajjar and L. Hanzo, "A Noncoherent Multiuser Large-Scale SIMO System Relying on M-Ary DPSK and BICM-ID," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no. 2, pp. 1809-1814, Feb. 2018, doi: 10.1109/TVT.2017.2750114.

- [47] Garau Guzman, J.; Baeza, V.M. Enhancing Urban Mobility through Traffic Management with UAVs and VLC Technologies. *Drones* 2024, 8, 7. <https://doi.org/10.3390/drones8010007>
- [48] Mulero-Palencia, S.; Monzon Baeza, V. Detection of Vulnerabilities in Smart Buildings Using the Shodan Tool. *Electronics* 2023, 12, 4815. <https://doi.org/10.3390/electronics12234815>
- [49] Parada, R.; Monzon Baeza, V.; Barraca-Ibort, D.N.; Monzo, C. LoRa-Based Low-Cost Nanosatellite for Emerging Communication Networks in Complex Scenarios. *Aerospace* 2023, 10, 754. <https://doi.org/10.3390/aerospace10090754>
- [50] V. M. Baeza y A. G. Armada, "Noncoherent Massive MIMO," en *Wiley 5G Ref: The Essential 5G Reference Online*, Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2019, págs. 1-28. doi: 10.1002/9781119471509.w5GRef027.
- [51] V. M. Baeza, "Multiple Access in Constellation Domain by Non-Coherent Massive MIMO," 2023, arXiv preprint arXiv:2303.06499. doi: 10.48550/arXiv.2303.06499.
- [52] Alcántara Suárez, E.J. Análisis de la aplicación de machine learning en sistemas de defensa. Master's Dissertation, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, Spain, 2023.
- [53] R. M. Molina y V. M. Baeza, "Estudio y diseño de Network Slicing en comunicaciones vehiculares en entornos de Smart Cities," 2022.
- [54] V. M. Baeza, "Multiuser non coherent massive mimo schemes based on dpsk for future communication systems," Tesis doct., Universidad Carlos III de Madrid, 2019.