



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un escenario de combate para simulación táctica de
operaciones militares en terreno urbano mediante realidad virtual*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Diego Garabito de la Fuente

DIRECTORES: Xavier Núñez Nieto

Francisco Manuel Troncoso Pastoriza

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un escenario de combate para simulación táctica de
operaciones militares en terreno urbano mediante realidad virtual*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

El avance de la tecnología digital de última generación, en el marco de la Industria de Cuarta Generación (i4.0), ha resultado en un notable aumento en la integración y consolidación del ámbito digital dentro de las Fuerzas Armadas. Dentro del amplio espectro tecnológico que define el concepto emergente de la Armada 4.0, la realidad virtual (RV) juega un papel destacado. Estas técnicas y enfoques están dirigidos hacia la simulación virtual con fines de entrenamiento militar, como se evidencia en numerosos proyectos de gamificación llevados a cabo por los tres cuerpos militares. Este Trabajo Fin de Grado se enfoca en la creación de un entorno virtual de alta fidelidad utilizando esta tecnología, con el propósito de, en el futuro, simular de manera inmersiva el entrenamiento para el combate en escenarios de batalla. El desarrollo del proyecto se basó en la creación de un entorno hostil de conflicto bélico utilizando la tecnología de Realidad Virtual en 360 grados (RV360), con el objetivo de ofrecer una experiencia completamente envolvente para el usuario. Todo el proceso se llevó a cabo mediante la combinación de diversas técnicas y enfoques de ingeniería asistida por ordenador (CAD), ofrecidas por el popular motor de juego *Unreal Engine*.

PALABRAS CLAVE

Realidad Virtual, Informática gráfica, CAD, *Unreal Engine*, Simulación de combate

AGRADECIMIENTOS

Antes de nada, agradecer el tiempo y esfuerzo dedicado por mis tutores, los profesores D. Xavier Núñez Nieto y D. Francisco Manuel Troncoso Pastoriza. Su paciencia y comprensión, además de constante apoyo a lo largo del proyecto, han conseguido que llegase hasta el final sin desmotivarme.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
1 Introducción y objetivos	9
1.1 Descripción del apartado.....	9
1.2 Antecedentes	9
1.3 Justificación	11
1.4 Objetivos	12
1.5 Estructura del trabajo	12
2 Estado del arte	14
2.1 Descripción del apartado.....	14
2.2 Conceptos militares.....	14
2.2.1 Combate en población	14
2.2.1.1 Características generales.....	14
2.2.1.2 Principios básicos	15
2.2.1.3 Procedimiento MOUT	16
2.2.2 Reglas de combate	21
2.3 Simulación en el ámbito de la Defensa	23
2.3.1 Historia de la simulación militar.....	23
2.3.2 Simuladores en la actualidad	25
2.3.2.1 Posibilidades de la simulación en el adiestramiento.....	26
2.3.2.2 Aporte de los videojuegos a la simulación militar.....	26
2.3.2.3 Tipos de simuladores militares	27
2.3.2.4 Simuladores en las FAS españolas	28
2.3.2.5 Simulador de tiro Víctrix	30
2.4 Tecnologías i4.0	31
2.4.1 Gamificación.....	31
2.4.2 Inteligencia Artificial.....	31
2.4.3 Realidad Virtual, Aumentada y Mixta.....	32
2.5 Software y equipo	33
2.5.1 Software	33
2.5.1.1 Epic Games	34
2.5.1.2 Unreal Engine 5	35
2.5.1.3 Autodesk Inventor Pro	37

2.5.2 Equipo y Material empleados	37
2.5.2.1 Gafas VR Meta Quest 3.....	38
2.5.2.2 Tarjeta Gráfica EVGA GEFORCE RTX 3080.....	39
3 Desarrollo	40
3.1 Descripción del apartado.....	40
3.2 Escenario.....	40
3.2.1 Aplicación del simulador	40
3.2.2 Selección del entorno.....	42
3.2.3 Obtención de planos y toma de distancias	43
3.2.4 Consideraciones que influyen en las situaciones a recrear	44
3.3 Diseño y modelado.....	45
3.3.1 Interfaz Unreal Engine 5.....	46
3.3.2 Diseño básico del terreno.....	51
3.3.2.1 Landscape Material.....	51
3.3.2.2 Estructura inicial	55
3.3.3 Construcción e importación de edificios	56
3.3.3.1 Diseño en Inventor.....	57
3.3.3.2 Importación en Unreal y elección de materiales.....	59
3.3.3.3 Distribución en el escenario.....	63
3.3.4 Modelado del terreno y el poblado	65
3.3.4.1 Landscape Mode	65
3.3.4.2 Foliage Mode	70
3.3.4.3 Detalles de realismo y ambiente	76
3.4 Bibliotecas.....	78
3.4.1 Biblioteca de armamento	78
3.4.2 Biblioteca de actores.....	81
4 Resultados	85
4.1 Descripción del apartado.....	85
4.2 Escenario.....	85
4.3 Diseño y modelado.....	85
4.3.1 Diseño básico del terreno.....	86
4.3.2 Construcción e importación de edificios	87
4.3.3 Modelado del terreno y el poblado	89
4.4 Bibliotecas.....	92
4.4.1 Biblioteca de armamento	92
4.4.2 Biblioteca de actores.....	95

4.5 Video explicativo	98
5 Conclusiones y líneas futuras	100
5.1 Descripción del apartado.....	100
5.2 Conclusiones	100
5.2.1 Conclusiones previas	100
5.2.1.1 El escenario.....	100
5.2.1.2 Diseño y modelado	100
5.2.1.3 Bibliotecas	101
5.2.2 Conclusión final.....	101
5.3 Líneas futuras	102
5.3.1 A corto plazo.....	102
5.3.2 A largo plazo.....	102
6 Bibliografía.....	103
Anexo I: Implicaciones Económicas y Ambientales.....	108
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	110
Anexo III: Planos PICOZU base General Morillo	112
Anexo IV: Planos INVENTOR edificios escenario	123
Anexo V: Manual de seguridad gafas meta quest 3	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Evolución de la Industria a lo largo de los últimos siglos [2].	9
Figura 1-2 Pilares fundamentales de i4.0 [4].	10
Figura 1-3 Portada de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa [9].	11
Figura 2-1 Movimiento por exteriores por Pelotón [12].	16
Figura 2-2 Movimiento por exteriores por EF [12].	16
Figura 2-3 Método de angulación y giros de esquinas [11].	16
Figura 2-4 Método hombre tapón para cruce de puertas/ventanas [12].	17
Figura 2-5 Procedimiento para giro en cruz [12].	17
Figura 2-6 Procedimiento para giro en T [12].	18
Figura 2-7 Cruce en T [12].	18
Figura 2-8 Giro en L [12].	18
Figura 2-9 Procedimiento para cambio de acera de EF [12].	19
Figura 2-10 Movimiento por exteriores entidad Pelotón [12].	19
Figura 2-11 Entrada con método bastón en una habitación/edificio con la puerta cerrada. [12]	20
Figura 2-12 Entrada en una habitación/edificio con la puerta cerrada [12].	20
Figura 2-13 Subida de escalera individual por rellanos [12].	20
Figura 2-14 Cadena de Comando para las REN [17].	22
Figura 2-15 Principios del uso de la fuerza[18]. (Autoría propia)	23
Figura 2-16 Tablero de Chaturanga o <i>Chaturaji</i> [20].	24
Figura 2-17 Programa de adiestramiento simulado SAAB [24].	25
Figura 2-18 Videojuegos <i>Call of Duty</i> [26] y <i>Battlefield</i> [27].	27
Figura 2-19 Simulador del ET <i>Virtual BattleSpace 2</i> [30].	28
Figura 2-20 Simulador F-18 <i>Super Hornet</i> del EA [31].	29
Figura 2-21 Simulador de navegación de la ENM [32].	29
Figura 2-22 Simulador Mistral del ET [33].	30
Figura 2-23 Simulador Víctrix del Tercio Armada [35].	30
Figura 2-24 Experiencia VR Zero Latency [40].	32
Figura 2-25 AR en Pokémon Go [41].	33
Figura 2-26 <i>Software</i> empleado. (Autoría propia)	34
Figura 2-27 <i>Epic Games Home</i> [42].	34
Figura 2-28 Página inicio de <i>Sketchfab</i> [43].	35
Figura 2-29 Videojuegos creados con UE. (Autoría propia).	35
Figura 2-30 UE en el cine y la arquitectura. (Autoría propia)	36
Figura 2-31 Ejemplo de <i>MegaScans</i> . (Autoría propia)	36

Figura 2-32 Laboratorio de VR. (Autoría propia).....	37
Figura 2-33 Gafas <i>Meta Quest 2</i> [47].....	38
Figura 2-34 Gafas <i>Meta Quest 3</i> [47].....	38
Figura 2-35 Tarjeta gráfica instalada lista para su uso [48].	39
Figura 3-1 Etapas del proyecto. (Autoría propia).....	40
Figura 3-2 Ubicación PICOZU base General Morillo [51], [52], [53]	42
Figura 3-3 Distribución general de PICOZU [51].....	43
Figura 3-4 Medida de distancias en <i>Google Earth Pro</i> [51].	43
Figura 3-5 Diferentes actores en un ambiente asimétrico [54].	44
Figura 3-6 <i>Epic Games Launcher</i> [55].....	45
Figura 3-7 Motor <i>Unreal Engine 5</i> . (Autoría propia)	45
Figura 3-8 Tipos de videojuegos que ofrece <i>Unreal Engine 5</i> . (Autoría propia)	46
Figura 3-9 Plantilla por defecto de la opción <i>Virtual Reality</i> . (Autoría propia)	46
Figura 3-10 Barra herramientas superior. (Autoría propia)	47
Figura 3-11 Opciones rápidas del nivel actual. (Autoría propia)	47
Figura 3-12 Efectos visuales <i>Unreal Engine 5</i> . (Autoría propia).....	48
Figura 3-13 <i>Widgets</i> de edición. (Autoría propia).....	48
Figura 3-14 <i>Content Drawer</i> . (Autoría propia)	49
Figura 3-15 <i>World Outliner</i> . (Autoría propia).....	49
Figura 3-16 <i>Details</i> y <i>World Settings</i> . (Autoría propia).....	50
Figura 3-17 <i>New Level</i> . (Autoría propia)	50
Figura 3-18 <i>Open World</i> . (Autoría propia)	51
Figura 3-19 Carpeta <i>Starter Content</i> . (Autoría propia).....	51
Figura 3-20 <i>Ground Moss Material</i> . (Autoría propia)	52
Figura 3-21 Ventana <i>Quixel Bridge</i> . (Autoría propia)	52
Figura 3-22 <i>Surfaces</i> de <i>Bridge</i> . (Autoría propia).....	53
Figura 3-23 Nivel "Mountain" <i>Unreal Sensei</i>	54
Figura 3-24 <i>Landscape Material</i> . (Autoría propia).....	54
Figura 3-25 Creación de capas del <i>Landscape Material</i> . (Autoría propia).....	55
Figura 3-26 <i>Directional Light</i> . (Autoría propia)	55
Figura 3-27 <i>Water Lake Material</i> . (Autoría propia).....	56
Figura 3-28 Base del escenario de combate. (Autoría propia)	56
Figura 3-29 Nueva ventana <i>Inventor</i> . (Autoría propia).....	57
Figura 3-30 Herramientas empleadas en <i>Inventor</i> . (Autoría propia)	57
Figura 3-31 Boceto 2D planta edificio tipo 3. (Autoría propia).....	58

Figura 3-32 Extrusión de puertas y ventanas. (Autoría propia)	58
Figura 3-33 Navegador de materiales y de aspectos. (Autoría propia)	59
Figura 3-34 Carpeta " <i>Buildings</i> " dentro del proyecto. (Autoría propia)	59
Figura 3-35 Importar piezas en <i>Unreal Engine 5</i> . (Autoría propia)	60
Figura 3-36 Edificio 3 importado en <i>Unreal</i> sin material. (Autoría propia)	61
Figura 3-37 Materiales descargados de <i>Quixel Bridge</i> . (Autoría propia)	61
Figura 3-38 Materiales seleccionados de <i>Quixel Bridge</i> . (Autoría propia)	62
Figura 3-39 Detalles del material del techo. (Autoría propia)	62
Figura 3-40 Detalles del material de las paredes. (Autoría propia)	63
Figura 3-41 Alzado y planta del nivel "Figueirido". (Autoría propia)	63
Figura 3-42 Toma de distancias en la vista <i>Top</i> de <i>Unreal</i> . (Autoría propia)	64
Figura 3-43 Distribución de edificios en perspectiva. (Autoría propia)	65
Figura 3-44 <i>Landscape Mode</i> . (Autoría Propia)	65
Figura 3-45 <i>Landscape Manage Mode</i> . (Autoría propia)	66
Figura 3-46 <i>Landscape Paint Mode</i> . (Autoría propia)	67
Figura 3-47 Caminos del escenario. (Autoría propia)	68
Figura 3-48 <i>Landscape Sculpt Mode</i> . (Autoría propia)	69
Figura 3-49 Relieve del escenario de combate. (Autoría propia)	69
Figura 3-50 <i>Foliage Mode</i> . (Autoría propia)	70
Figura 3-51 Vegetación descargada de <i>Bridge</i> . (Autoría propia)	70
Figura 3-52 <i>Wild Grass</i> . (Autoría propia)	71
Figura 3-53 Pack árboles <i>MegaScans</i> . (Autoría propia)	71
Figura 3-54 Carpeta " <i>BlackAlder</i> ". (Autoría propia)	72
Figura 3-55 <i>Black Alder Tree</i> . (Autoría propia)	72
Figura 3-56 <i>Foliage Paint/Erase Mode</i> . (Autoría propia)	73
Figura 3-57 <i>Foliage Select Mode</i> . (Autoría propia)	74
Figura 3-58 <i>Foliage Single Mode</i> . (Autoría propia)	75
Figura 3-59 Vegetación añadida en el escenario. (Autoría propia)	75
Figura 3-60 Colecciones <i>Quixel Bridge</i> . (Autoría propia)	76
Figura 3-61 Elementos de la naturaleza añadidos. (Autoría propia)	76
Figura 3-62 Enseres añadidos al escenario. (Autoría propia)	77
Figura 3-63 Objetos incluidos en el poblado. (Autoría propia)	77
Figura 3-64 Bibliotecas distribuidas en carpetas. (Autoría propia)	78
Figura 3-65 HK-G36E. (Autoría propia)	79
Figura 3-66 Pistola FN P9 17. (Autoría propia)	79
Figura 3-67 MINIMI AML. (Autoría propia)	80

Figura 3-68 MINIMI AMM. (Autoría Propia).....	80
Figura 3-69 Sistema de arma C-90. (Autoría propia).....	81
Figura 3-70 <i>Modular Soldiers NATO</i> [54].	81
Figura 3-71 Carpeta " <i>Blueprints</i> ". (Autoría propia).....	82
Figura 3-72 Carpeta " <i>Meshes</i> ". (Autoría propia)	82
Figura 3-73 Niveles de paquetes de soldados modulares. (Autoría propia).....	83
Figura 3-74 Librería de metahumanos de <i>Bridge</i> . (Autoría propia).....	83
Figura 3-75 <i>MetaHuman Creator</i> . (Autoría propia)	84
Figura 3-76 Carpeta " <i>MetaHumans</i> " de la biblioteca de actores. (Autoridad propia)	84
Figura 4-1 <i>Landscape Material</i> . (Autoría propia).....	86
Figura 4-2 Diseño inicial escenario. (Autoría propia).....	86
Figura 4-3 Estructuras tipo 3 y 7 en <i>Inventor</i> . (Autoría propia).....	87
Figura 4-4 Estructura tipo 3 importada en <i>Unreal</i> . (Autoría propia)	87
Figura 4-5 Edificios distribuidos en el terreno. (Autoría propia).....	88
Figura 4-6 Distribución aérea de edificios en el escenario. (Autoría propia)	88
Figura 4-7 Relieve y caminos del terreno. (Autoría propia)	89
Figura 4-8 Vista periférica del modelado del escenario. (Autoría propia).....	89
Figura 4-9 Vegetación del escenario. (Autoría propia).....	90
Figura 4-10 Árboles y vegetación baja en detalle. (Autoría propia)	90
Figura 4-11 Escenario con objetos 3D importados y añadidos. (Autoría propia).....	91
Figura 4-12 Zonas del poblado con objetos 3D incluidos. (Autoría propia).....	91
Figura 4-13 Realismo en el interior de los edificios. (Autoría propia)	92
Figura 4-14 Armamento orgánico de la BRIMAR. (Autoría propia).....	92
Figura 4-15 Fusil HK-G36E. (Autoría propia).....	93
Figura 4-16 Pistola FN P9 17. (Autoría propia).....	93
Figura 4-17 Ametralladora ligera FN MINIMI. (Autoría propia).....	94
Figura 4-18 Ametralladora media FN MINIMI. (Autoría propia)	94
Figura 4-19 Sistema de arma C-90. (Autoría propia).....	95
Figura 4-20 Enemigo ubicado en las calles del escenario. (Autoría propia).....	95
Figura 4-21 Nivel " <i>CustomizationMP</i> " del módulo de soldados. (Autoría propia).....	96
Figura 4-22 Nivel " <i>ExamplesMP</i> " del módulo de soldados. (Autoría propia).....	96
Figura 4-23 Personaje <i>Dhruv</i> importado desde MHC. (Autoría propia).....	97
Figura 4-24 Metahumanos importados en el proyecto. (Autoría propia).....	97
Figura 4-25 Civiles en el escenario de PICOZU. (Autoría propia).....	98

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Descripción del apartado

En este primer apartado se expone el porqué de este proyecto, atendiendo a una serie de aspectos, desde un punto de vista general inicialmente y más específico de las FAS posteriormente, que justifiquen el desarrollo del trabajo. Se establecerán unos antecedentes, una justificación del proyecto y se fijarán los objetivos a alcanzar. Finalmente se detallará la estructura empleada en la presente memoria.

1.2 Antecedentes

Como punto de partida el siglo XVIII, se han ido sucediendo una serie de revoluciones industriales que han llevado a lo que hoy en día conocemos como Industria 4.0, fruto de la Cuarta Revolución Industrial. El intelecto del ser humano permitió pasar de una producción artesanal a una producción basada en el mecanizado y la máquina de vapor, que posteriormente podría evolucionar a una producción en escala gracias a las líneas de montaje y el empleo de la energía eléctrica. Estas líneas de producción más tarde serían automatizadas debido a la aparición de la robótica y las computadoras en el siglo XX, hasta finalmente llegar a la revolución conocida como Industria 4.0, o manufactura avanzada: la era de la digitalización y del internet de las cosas (IoT) [1].

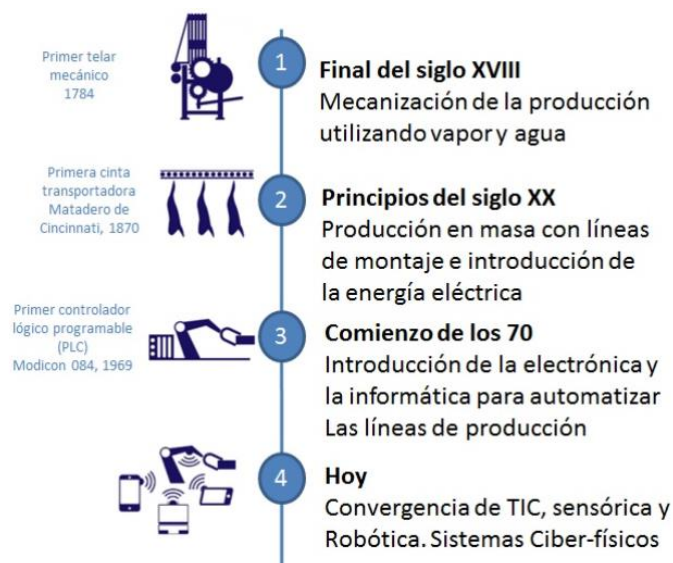


Figura 1-1 Evolución de la Industria a lo largo de los últimos siglos [2].

La Industria 4.0 se trata de un concepto creado en Alemania para hacer referencia a la “fábrica inteligente”, que consiste en una innovadora manera de organizar los sistemas de producción, quedando todos interconectados. Como podemos observar en la Figura 1-1, la convergencia de las tecnologías de la información (TIC) con la sensórica y la robótica han hecho evolucionar la internet tradicional en internet de las cosas (IoT) [2]. Este nuevo concepto de industria combina la producción física con tecnología inteligente, aprendizaje automático y *Big Data* para crear un ecosistema mejor conectado para aquellas empresas cuya principal labor es la administración de la cadena de suministro y fabricación. Por tanto, este sector se ha visto revolucionado en pocos años debido a las ya mencionadas TICs, la analítica de datos, el *Big Data*, la automatización industrial, el *Cloud Computing*, el IoT y otra serie de tecnologías de la i4.0 que podemos observar en la Figura 1-2 [3].



Figura 1-2 Pilares fundamentales de i4.0 [4].

De todos los pilares de la i4.0 que aparecen en la Figura 1-2, este proyecto tiene como base las siguientes tecnologías sobre las que se sustenta: realidad aumentada, simulación y 3D.

Este Universo 4.0 en que todas las organizaciones, públicas y privadas, civiles y militares deben desarrollar su actividad hoy en día, se caracteriza por un empleo intensivo de las nuevas tecnologías digitales, dentro de un entorno de evolución tecnológica cuya adaptación supone un verdadero reto. La Armada no podía ser menos, y al igual que en el resto de las revoluciones industriales, trata de mantenerse actualizada y ser puntera en esta nueva dinámica 4.0. Este proceso de transformación digital le permite adaptarse a este entorno de cambio constante y aprovechar, a la vez, las oportunidades ofrecidas por nuevas tecnologías, con la finalidad de ser lo más eficiente posible en el empleo de recursos materiales, financieros y, principalmente, humanos que España pone a su disposición [5].

Este proceso de transformación digital, que la Armada española siente como una verdadera necesidad, es a la vez una obligación, ya que como heredera de la experiencia de las personas que la integran, debe de ser capaz de dar sentido y navegar en el profundo océano tecnológico al que nos enfrentamos con rumbo propio y sin perder de vista su presente y misión principal [6].

La Visión de la Armada 4.0 fue presentada por primera vez en la Semana Naval de Madrid, en su VIII edición en 2018 en una mesa redonda titulada “Universo 4.0. Impacto en las organizaciones.”, donde se debatió el impacto de las nuevas tecnologías en la cultura y en las organizaciones. Posteriormente, la XI Semana Naval de Madrid celebrada en 2021 tuvo como eje principal ‘la era digital en el entorno marítimo’, en torno al cual se desarrollaron todas la conferencias, seminarios y actividades de esta edición [7]. La inmersión de la Armada en el universo 4.0 es fácilmente visible en aspectos como Industria 4.0, Sostenimiento 4.0 y Apoyo Logístico 4.0, y el desarrollo de los Astilleros 4.0 para los

nuevos Submarinos S-80 o las Fragatas F-110 con la implementación del gemelo digital o de simuladores de combate en diferentes ambientes [6].

Sin duda las tecnologías disruptivas van a ser protagonistas de esta nueva época, pero cobrarán aún más importancia las personas, con una formación que les permita navegar en unas aguas sin reconocer y alcanzar esa organización 4.0 que tanto se ha mencionado. De esta manera, el ámbito de Enseñanza Naval no es ajeno a este nuevo entorno 4.0 al que tiende a evolucionar la Armada actualmente. En la preparación de cara al futuro la tecnología será un factor diferencial y la Armada debe procurar la innovación y la adaptación a estos nuevos sistemas para aprovechar al máximo sus posibilidades. Destacan aportaciones como la incorporación de Inteligencia Artificial y el apoyo virtual de la enseñanza por medio de gamificación y visualización 3D. Estas junto con técnicas de Realidad Virtual o Aumentada buscan el concepto que nos atañe en nuestro proyecto: aprendizaje inmersivo mediante Simulación [6].

Esta Industria 4.0 está afectando no solamente a la Armada, sino que todas las Fuerzas Armadas están tratando de modernizarse en este campo, cobrando gran importancia el ámbito de simulación de entornos cada vez más realistas, que abarcan desde aquellos centrados en la Seguridad Interior de los buques hasta la simulación de una situación hostil de conflicto bélico que permita de manera inmersiva el adiestramiento de combate en el campo de batalla. Esta última se está desarrollando en una línea de investigación tecnológica creada por el Portal de Tecnología e Innovación del MINISDEF dentro de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), cuya portada corresponde con la Figura 1-3 [8].

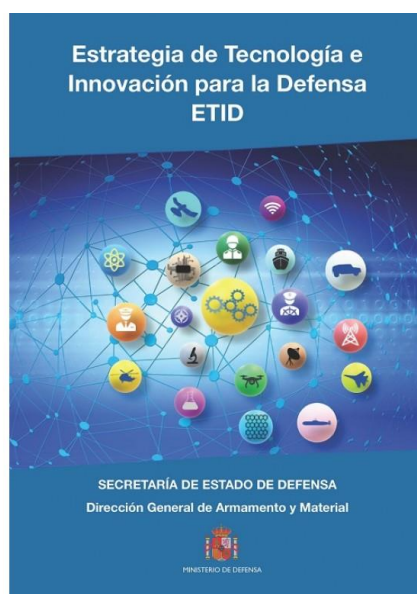


Figura 1-3 Portada de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa [9].

1.3 Justificación

Ya ha quedado patente la importancia de la adaptación de la Armada al mundo 4.0, y mantenerse actualizada en un entorno en constante evolución y desarrollo. Conceptos mencionados como simulación 3D, realidad virtual y adiestramiento inmersivo están empezando a cobrar importancia en el ámbito de las Fuerzas Armadas y son la razón de este proyecto. Si bien se ha visto la relevancia que tienen para alcanzar lo conocido como Armada 4.0, es aún mayor para el mundo de la Enseñanza Naval.

Actualmente, los conflictos armados son visibles en prácticamente todos los lugares del mundo, e ignorarlo puede tener graves consecuencias. Debido a esto, una Armada anticuada tecnológicamente y con personal desentrenado pondría a España en duda frente a sus aliados y posibles oponentes. En lo referido al adiestramiento del personal, este tiene su base en las academias militares que se encuentran distribuidas por toda España. El adiestramiento militar es el proceso de capacitación y entrenamiento

que reciben los militares para prepararlos para cumplir con sus responsabilidades y misiones. Esto incluye desde ejercicios físicos, adiestramiento táctico, manejo de armas y sistemas, y otra serie de aspectos que cobran importancia en la realización de operaciones bélicas. Por tanto, el objetivo principal es que adquieran el conocimiento, desarrollen las habilidades y destrezas, y la disciplina necesaria para actuar de manera eficaz y eficiente en caso de conflicto armado.

Profundizando en la Escuela Naval Militar, esta dispone de dos simuladores VICTRIX, que permite a los alumnos de Infantería de Marina el entrenamiento de tiro con armas ligeras. Esto ha supuesto una optimización de medios y tiempo, ya que facilita este tipo de adiestramiento sin necesidad de desplazarse a un campo de tiro y de gastar munición real siempre que se realice. Sin embargo, actualmente la ENM no dispone de un simulador que permita la práctica de MOUT (*Military Operations in Urban Terrain*). Para poder adiestrarse en combate en zona urbana, los alumnos de Infantería de Marina deben movilizarse hasta la base militar General Morillo del Ejército de Tierra, o en su defecto al GRS (Grupo Rural de Seguridad) de Pontevedra perteneciente a la Guardia Civil. Esto supone un esfuerzo logístico y económico de grandes dimensiones cada vez que los alumnos tienen que adiestrarse en este ámbito, cosa que no sería necesaria en caso de disponer de un simulador preparado para ello.

Por tanto, este Trabajo Fin de Grado propone la realización de un simulador mediante realidad virtual para la práctica de combate en población con un escenario realista basado en la zona destinada para ello de la base militar General Morillo. La instalación de un simulador de escenario inmersivo de combate es la alternativa más factible y contribuiría a la formación de los alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar, pudiendo ser evaluados en su capacidad de reacción, decisión bajo estrés y conocimiento de los procedimientos del MOUT, aspectos clave en este tipo de escenario. Además de ocupar un espacio mínimo, reduce costes económicos y de medios, logísticos, tiempo invertido y evita posibles lesiones. De esta manera, quedaría totalmente justificado el diseño de este simulador 3D.

1.4 Objetivos

El objetivo principal del proyecto queda claro con el título del proyecto, siendo este el diseño de un escenario de combate para simulación táctica de operaciones militares en terreno urbano mediante realidad virtual. Sumado a este, existen una serie de objetivos secundarios que se deducen del mismo:

- Diseñar el escenario de un simulador de combate en zona urbana basado en técnicas de diseño asistido por ordenador y modelado, empleando un motor de juego que aplica la Gamificación y que nos permita crear un entorno inmersivo de Realidad Virtual.
- Alcanzar un modelado realista del poblado que se quiere reproducir, en el que se llevará a cabo la simulación y que permitirá una inmersión completa del alumno para complementar su adiestramiento en este ámbito. Para ello se expresará al máximo las prestaciones que nos ofrece el software que se va a emplear, además de diseñar con el mayor detalle posible la zona de combate en población de la base militar General Morillo.
- Describir paso a paso el desarrollo del proyecto facilitando así una guía de este para proyectos futuros.

1.5 Estructura del trabajo

La estructura que se seguirá durante la memoria del proyecto será la presentada en el índice de contenido:

1. **Introducción y objetivos:** Se describen los detalles previos junto con la motivación del proyecto y sus antecedentes. Se establecen los objetivos que se pretenden cumplir durante el mismo.
2. **Estado del arte:** Se enfoca en una detallada descripción del ámbito en el que se desarrolla nuestro proyecto, facilitando así la comprensión del desarrollo y los resultados posteriores. Se centra por un lado en el ámbito militar, describiendo aquellos conceptos que resultan interesantes para nosotros, y en el ámbito civil, incluyendo el software y equipo empleado durante la ejecución.

3. **Desarrollo:** Se describe de manera detallada todo el proceso de ejecución del proyecto, estructurándolo en las distintas partes que lo comprenden.
4. **Resultados:** Se exponen los productos obtenidos de la ejecución y el desarrollo del proyecto, fruto del cuál obtenemos el escenario del simulador inmersivo de Realidad Virtual para adiestramiento en prácticas de combate en población.
5. **Conclusiones y líneas futuras:** Se realiza un análisis de los dos puntos anteriores, incluyendo posibles aplicaciones futuras del proyecto y en concreto el simulador.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Descripción del apartado

En este apartado se busca proporcionar una base para facilitar la comprensión del resto del proyecto, y contextualizarlo para entender cómo se ha llegado al desarrollo de este Trabajo Fin de Grado. Se iniciará con un breve subapartado donde se describirán aquellos conceptos militares cuyo entendimiento es primordial, para posteriormente hablar sobre la simulación virtual desde un punto de vista militar. Seguidamente se entrará en detalle en las tecnologías i4.0 que nos atañen, para finalizar con el material, tanto software como equipo, empleado durante el desarrollo completo.

2.2 Conceptos militares

2.2.1 Combate en población

Primer y principal concepto que se debe entender en este proyecto, y en el que se va a profundizar a continuación centrándose en las características generales, unos principios básicos y los procedimientos empleados en este tipo de operaciones.

En la actualidad, en todo tipo de operaciones en distintos escenarios se llevan a cabo actividades en ambiente urbano. Son operaciones que requieren de mucho planeamiento y gran nivel de adiestramiento del personal que la ejecuta, más aún al caracterizarse por la descentralización. Muy probablemente las compañías, secciones y pelotones realizarán sus cometidos os de los demás elementos de su unidad superior [10].

Los oficiales de infantería de marina de la Escuela Naval Militar, al igual que el resto de la FIM (Fuerza de Infantería de Marina), tiene un amplio y complejo adiestramiento en combate en terreno urbano. Es un escenario de extrema complejidad y tiene unas técnicas y requerimientos muy específicos que son necesarios para realizar las MOUT (*Military Operations in Urban Terrain*).

2.2.1.1 Características generales

Las Operaciones Militares sobre Terreno Urbano (MOUT) incluyen todas las acciones militares que se planean y ejecutan sobre un terreno complicado y construido por el hombre lo que influye en las posibilidades del jefe de unidad.

El combate en terreno urbano se caracteriza por realizarse en distancias cortas, campos de tiro y observación limitados, la dificultad en el control de tropas, y la canalización de movimiento en vehículos. Los edificios normalmente proporcionan tanto al atacante como al defensor una buena protección contra el fuego directo como indirecto. El combate se produce en distancias cortas, y el resultado dependerá en gran medida de la iniciativa y agresividad de los jefes de pequeñas unidades [11].

Las características principales de las zonas urbanas son el terreno, provista de edificios e infraestructuras, y la población que habita en él. El terreno urbano está constituido por tres dimensiones distintas, el exterior e interior de los edificios, incluido el alcantarillado, y el espacio aéreo sobre dichas construcciones [10].

- **El terreno:** entramado de estructuras de todo tipo realizadas por el hombre y asentadas sobre el terreno natural.
- **Elemento humano:** población que habita el terreno urbano y hace uso del mismo. Influirá de manera acentuada el desarrollo de las operaciones militares en este ambiente.
- **Infraestructuras:** elemento del que depende el funcionamiento tanto de la zona urbanizada como de zonas exteriores a la misma [12].

Las operaciones en zona urbana se llevan a cabo en un total de 5 fases, aunque dependiendo a la publicación a la que se atienda estas se pueden resumir en hasta 3 fases:

1. **Fase I:** Reconocimiento. Obtener la máxima información posible previamente a la entrada al objetivo.
2. **Fase II:** Aislamiento. Aislar el objetivo y controlar las avenidas de aproximación al mismo. Se deben asegurar los puntos claves, utilizando para ello las armas de apoyo.
3. **Fase III:** Establecimiento de la posición de apoyo. Obtener un control positivo sobre el punto de entrada y sobre el objetivo.
4. **Fase IV:** Limpieza del objetivo. Despejar toda la zona objetivo de enemigo de manera metódica.
5. **Fase V:** Consolidación y reorganización. Acciones inmediatas para repeler un posible contraataque [12].

2.2.1.2 Principios básicos

Debido a la complejidad del campo de batalla, la táctica en el terreno urbano debe basarse en la iniciativa. Para ello cada infante de marina dentro del pelotón debe de estar capacitado para tomar decisiones tácticas en respuesta al entorno cambiante y complejo. Cada infante de marina tendrá en cuenta las tres siguientes reglas para la toma de decisiones:

- **Identificar y cubrir zonas peligrosas.** Toda aquella zona que no haya sido limpiada o que se haya desocupado posteriormente. Se cubrirán hasta que la unidad se mueva más allá de la zona de influencia.
- **Enfrentarse con precisión a las amenazas.** Identificar la amenaza antes de abatirla debido a la actuación de diferentes actores: amenaza, fuerzas propias y población civil.
- **Protegerse mutuamente.** Iniciativa para identificar y corregir brechas en la seguridad, informar sobre las amenazas y cubrir las acciones de los compañeros. Comunicación continua para tener conocimiento de la situación.

Dentro, y formando parte las MOUT, cobra especial importancia el combate en espacios reducidos (*Close Quarters Battle*), disciplina que abarca todas las situaciones de combate en las que se deben eliminar amenazas empleando armas a muy corta distancia disparando normalmente de manera instintiva y con rapidez.

Dado que los escenarios y situaciones en las que se emplea el CQB son muy diversos, también lo pueden ser las TTP's (Técnicas Tácticas y Procedimientos) a usar en cada caso. Por este motivo es importante definir y conocer los principios generales que rigen el CQB de manera que cada combatiente pueda adaptarse y anticiparse a cada situación que se le presenta empleando la técnica más adecuada para ellos. Estos principios son los siguientes: iniciativa, seguridad, coordinación y sorpresa. Como ya se ha mencionado, el más importante de estos es la iniciativa de cada combatiente, que permitirá a la unidad adaptarse a distintas situaciones de manera flexible y fluida [12].

2.2.1.3 Procedimiento MOUT

Se explicará los procedimientos y técnicas básicas aplicadas en las MOUT y en el CQB, de obligado conocimiento por cualquier combatiente que tome parte en estas operaciones.

- **Movimiento por exteriores.** (Figura 2-1 y Figura 2-2) N1 a vanguardia, N2 lado opuesto, N3 lado por el que se progresa y N4 retaguardia. En caso de ser más los sectores se cubrirán por binomios [12].

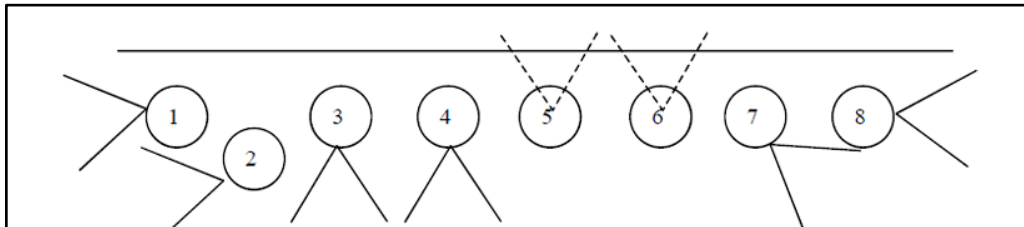


Figura 2-1 Movimiento por exteriores por Pelotón [12].

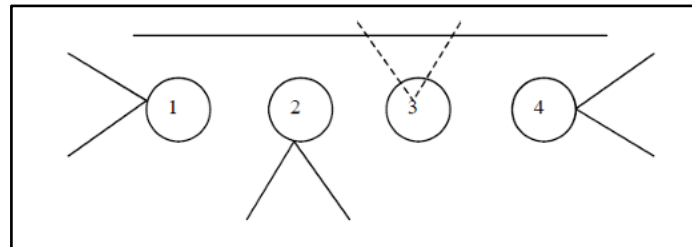


Figura 2-2 Movimiento por exteriores por EF [12].

- **Esquinas.** (Figura 2-3) Siempre que se pueda, al igual que se hace al progresar por una calle, uno del binomio se asomará primero. Pero con la tensión que se produce en una acción dentro de un edificio, es muy difícil poder realizar dicha maniobra. Lo que nunca se debe hacer es asomar el arma por una esquina. Para doblar la esquina habrá que abrirse tanto como nos sea posible, para que el sector de observación y tiro sea mayor y no exponerse a un posible enemigo que hubiese tras la esquina. Este movimiento se debe realizar despacio y de manera sigilosa. Cuanto más larga sea el arma que porten los combatientes (en vez de pistola o subfusil llevar fusil) más nos habría que abrirse. Esta misma técnica de abrirse serviría para limpiar o reconocer una habitación sin tener que entrar en ella y para cruzar una puerta [11].

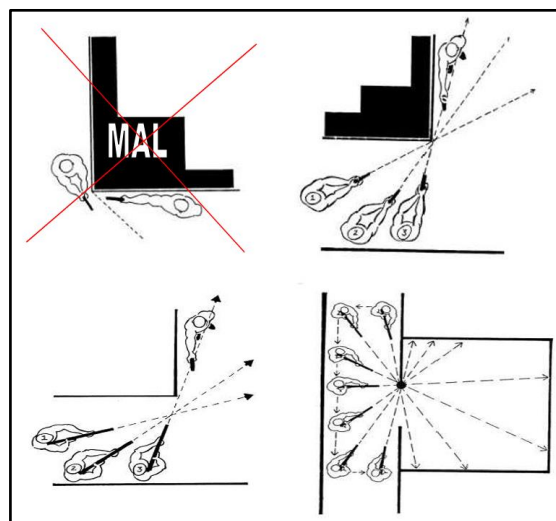


Figura 2-3 Método de angulación y giros de esquinas [11].

- **Cruce puerta/ventana abierta.** (Figura 2-4) Se aplica el método del hombre tapón. Basado en que N1 avisa de la amenaza (puerta/ventana) y angula hasta situarse enfrente de la apertura, mientras que N2 toma la vanguardia y sigue avanzando con el resto de la unidad. Una vez todos los miembros hayan cruzado la puerta/ventana N1 se incorpora a la retaguardia del equipo [12].

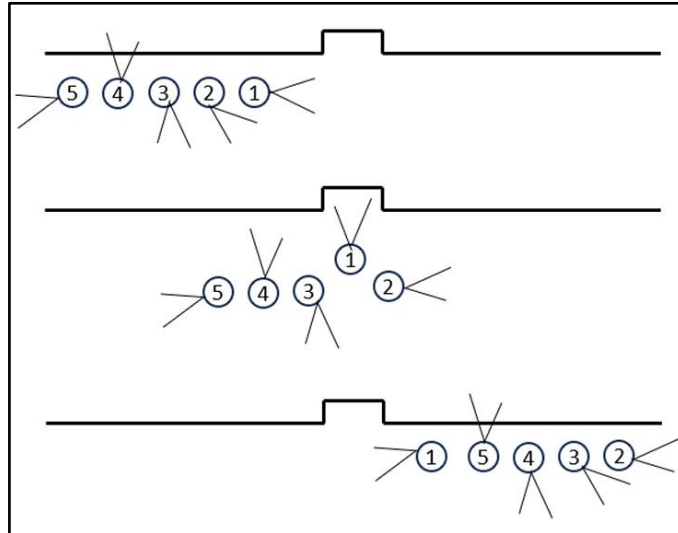


Figura 2-4 Método hombre tapón para cruce de puertas/ventanas [12].

- **Giro en cruz.** (Figura 2-5) N1 indica la dirección de giro y se abre al centro para cubrir vanguardia, N2 se abre al otro lado y cubre un sector lateral, N3 se adelanta para cubrir el sector contrario, el resto del equipo cubre sus sectores anteriores. N2 y N3 se abren y pasan al otro lado de la calle, resto del equipo cruza a la calle que se desea. N1, N2 y N3 se incorporan al resto del equipo una vez hayan cruzado todos los miembros del mismo [12].

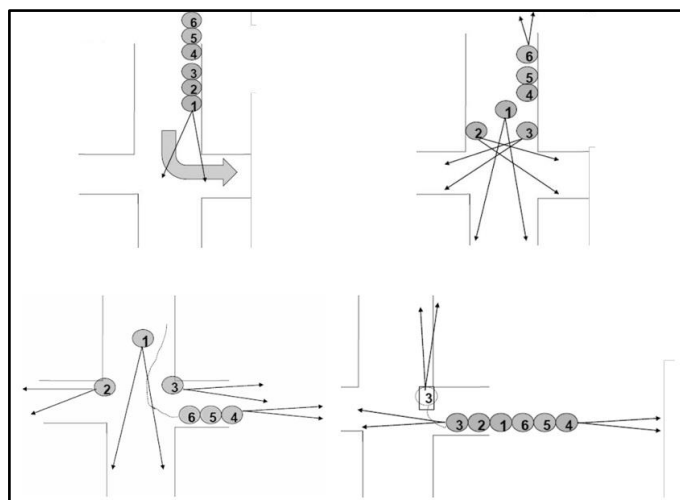


Figura 2-5 Procedimiento para giro en cruz [12].

- **Cruce en cruz.** El procedimiento inicial para N1, N2 y N3 se asemejaría al del giro en cruz, con los mismos sectores y cometidos para los tres. Una vez cruce todo el equipo, los dos últimos cubrirán los sectores de N2 y N3 para que estos puedan cruzar con seguridad [12].
- **Giro en T.** (Figura 2-6) N1 cubre la vanguardia, N2 cubre la calle por donde se va a progresar. Cruce del resto del equipo e incorporación de N2 y N1 en ese orden. Si se progresa

desde el centro de la T, se aplica el procedimiento en cruz, N1 cubriendo el edificio a vanguardia [12].

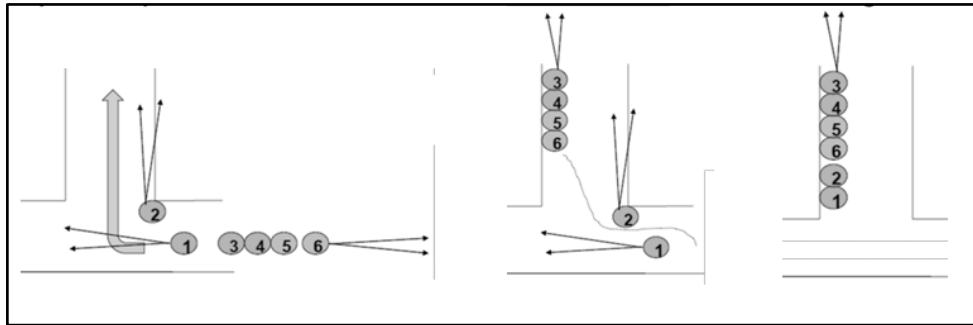


Figura 2-6 Procedimiento para giro en T [12].

- **Cruce en T.** (Figura 2-7) N1 cubre la vanguardia, N2 angula la esquina y cubre la calle que sale hacia el lateral. Cruzan N3 que pasa a cubrir la vanguardia una vez ha cruzado (N1 cubre ahora la retaguardia), y N4 que cubre la calle lateral desde el otro lado del cruce. A continuación, cruza todo el resto de la unidad, siendo los últimos en cruzar N1 y N2 [12].

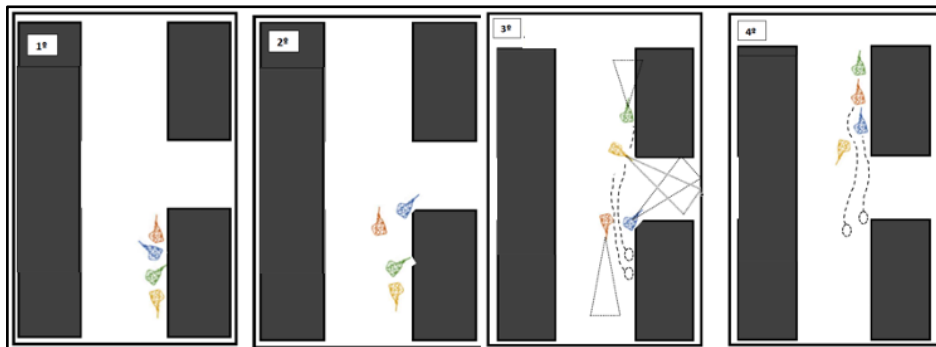


Figura 2-7 Cruce en T [12].

- **Giro en L.** (Figura 2-8) N1 cubre la calle por donde se va a progresar. Cruce del resto del equipo, incorporándose N1 en la retaguardia de este [12].

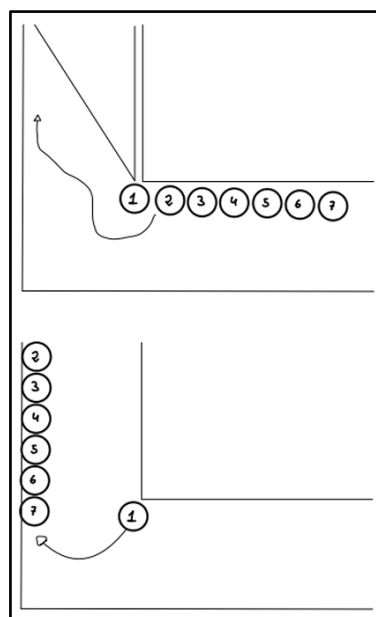


Figura 2-8 Giro en L [12].

- **Cambio de acera.** (Figura 2-9) N1 y N2 cruzan y N2 pasa a cubrir el lado opuesto al que cubría al igual que N3 y luego cruzan el resto del equipo [12].

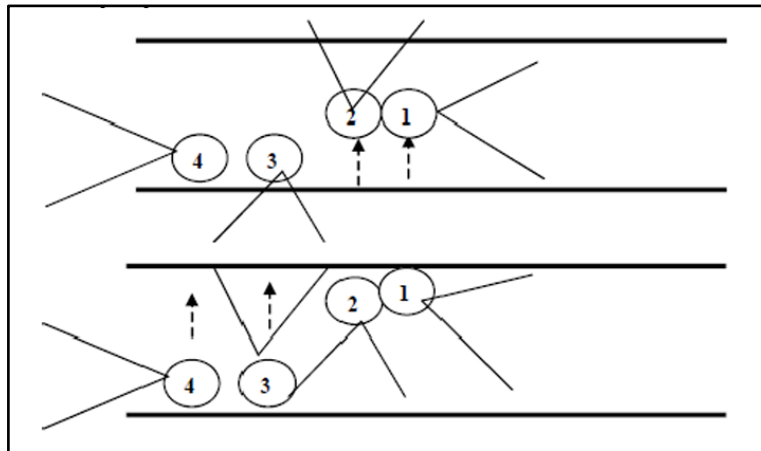


Figura 2-9 Procedimiento para cambio de acera de EF [12].

- **Doble columna.** (Figura 2-10) Todos los procedimientos anteriores se pueden adaptar al movimiento por exteriores en doble columna. En este tipo de movimiento hay infantes de marina en ambos lados de la calle, de tal manera que cada grupo cubre los sectores en altura de la acera contraria. Esta técnica se suele emplear cuando existe posibilidad de amenaza en altura [12].

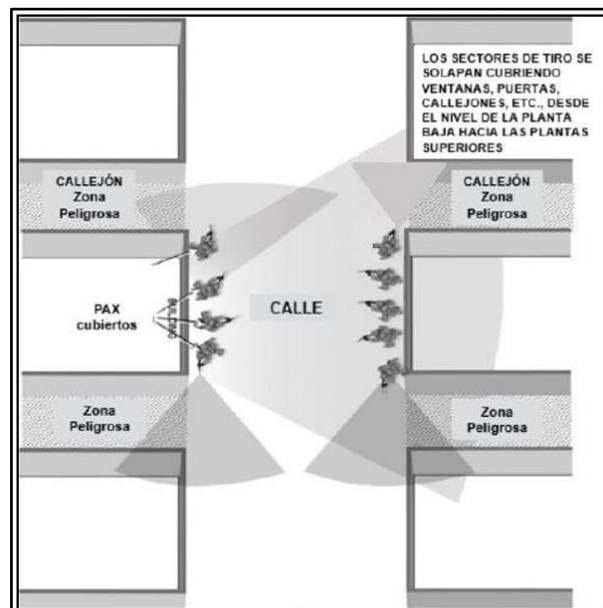


Figura 2-10 Movimiento por exteriores entidad Pelotón [12].

- **Entrada a edificios/habitaciones.** (Figura 2-11 y Figura 2-12) El pelotón se dividirá en un equipo que entrará y otro equipo que proporcionará seguridad a la entrada. N1 informa del estado de la puerta, y seguidamente realizará una angulación para entrar con su binomio N2 en método bastón. En cuanto N1 ha dejado de cubrir la vanguardia, será N5 el que se despegará de la pared y adquirirá el cometido de N1. Una vez N1 y N2 hayan entrado en el edificio/habitación, informarán al resto del equipo del estado en el interior y, si procede, entrarán el resto de los miembros. Del primer binomio que entra, el que levante el fusil de los dos estará cediendo el paso a que su compañero entre en primer lugar [12].

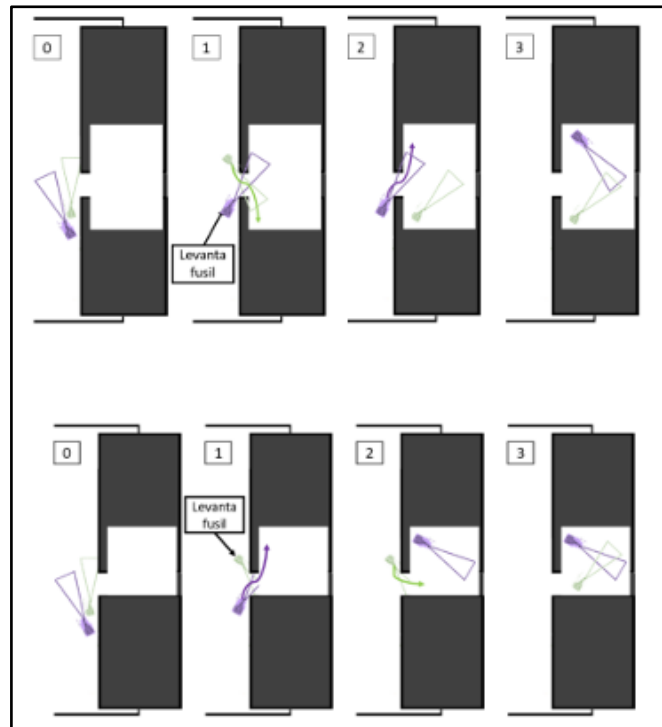


Figura 2-11 Entrada con método bastón en una habitación/edificio con la puerta cerrada. [12]

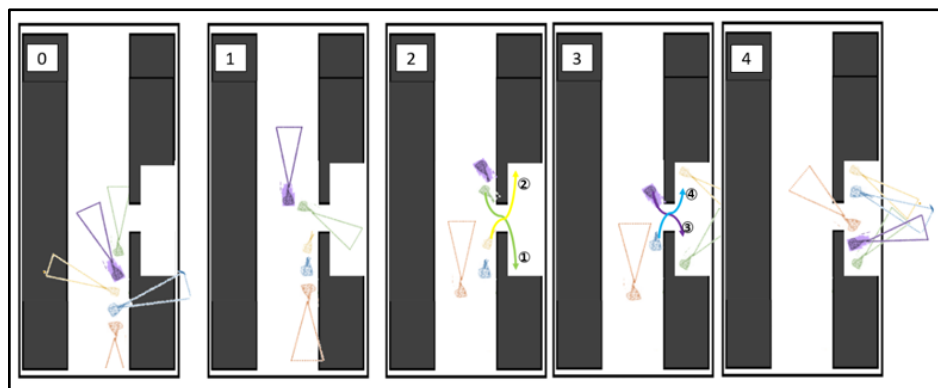


Figura 2-12 Entrada en una habitación/edificio con la puerta cerrada [12].

- **Subida de escaleras.** (Figura 2-13) N1 y N2 subirán las escaleras simultáneamente repartiéndose dos sectores respectivamente, alturas y vanguardia. N1 avanzará por el interior de las escaleras cubriendo las alturas mientras que N2 no soltará la vanguardia, avanzando por el centro de la escalera. En caso de que la escalera no cuente con espacio para ambos, se realizará de manera individual por saltos sucesivos entre rellanos.

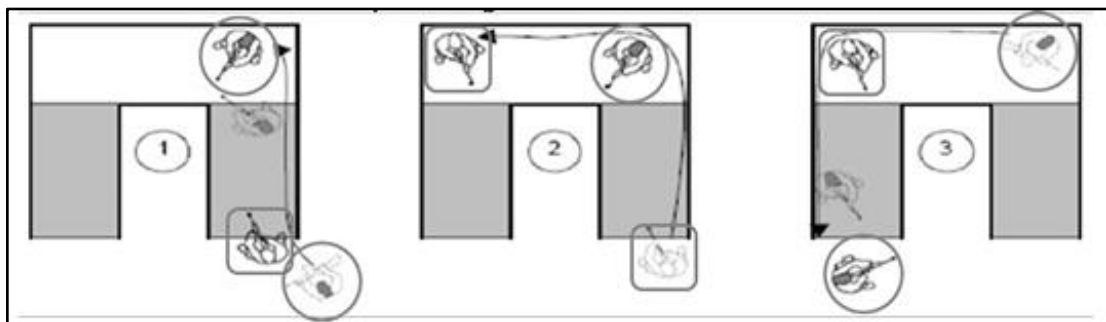


Figura 2-13 Subida de escalera individual por rellanos [12].

2.2.2 Reglas de combate

Además de las bases del MOUT (*Military Operations in Urban Terrain*) y todo lo relacionado con el combate en población, hay otros conceptos militares que en menor medida cobran importancia en el desarrollo de este documento y son los que guardan relación con la normativa vigente en el ámbito del empleo de la fuerza en los conflictos armados. Dividiremos este ámbito en cuatro conceptos básicos: las Reglas de Enfrentamiento (REN), la Defensa Personal, la Defensa Personal Extensible y el Derecho Internacional Humanitario (DIH).

- **Reglas de Enfrentamiento (REN o ROE, *Rules Of Engagement*):**

Creado por el estado mayor norteamericano en 1954, el concepto fue aceptado por Occidente a partir de los años 90. En la literatura aparecen citados antecedentes mucho más lejanos, de la Edad Media y el Descubrimiento de América, incorporándose posteriormente al ámbito militar. En España, tras participar en la operación en la antigua Yugoslavia deviene su naturaleza. “*Engagement*” significa enfrentamiento, combate, las reglas que debemos cumplir. Por otro lado, hace referencia al compromiso de autoridades políticas y mandos militares de usar la fuerza solo en casos previstos.

Su estudio tiene tres perspectivas: operativa, jurídica y politológica. La operativa nos remite a los procedimientos de los estados mayores y es limitada. Si se adopta hoy, mañana quedará obsoleto. La jurídica se limita a su base normativa y responsabilidades consecuentes. La politológica las considera herramientas de gobierno y toma de conciencia sobre lo real, y la gestión de esa realidad a través de la violencia [13].

Las ROE se entienden como un recurso esencial utilizado desde las esferas políticas más elevadas de un país y dirigido a sus Mandos militares en forma de instrucciones o directivas en las que se describen las circunstancias, las condiciones, el grado y los procedimientos a seguir para el empleo de la fuerza, letal incluida, en el curso de las operaciones militares. Se ha de concretar que “fuerza” no se considera exclusivamente violencia, y que estas reglas no son reemplazo de las órdenes tácticas impartidas por el Mando. Estas instrucciones establecen las directrices sobre el uso legítimo, gradual y proporcionado de la fuerza para cada operación en la que participan Unidades militares o, dicho de otro modo, los medios que se pueden emplear y las formas que se pueden seguir cuando deban intervenir en el cumplimiento de una misión encomendada.

A modo de síntesis, las Reglas de Enfrentamiento, inspiradas en el Código Penal, el Derecho Internacional Humanitario y demás convenciones y tratados internacionales, son órdenes que proporcionan el respaldo legal necesario a todos los escalones de Mando en el uso de la fuerza [14].

Por ello, en la Ley Orgánica 9/2011, de derechos y deberes de los miembros de las Fuerzas Armadas, y en la Ley 39/2007, de la Carrera Militar, se contempla como una regla de comportamiento militar que “en el empleo legítimo de la fuerza, hará un uso gradual y proporcionado de la misma, de acuerdo con las reglas de enfrentamiento establecidas para las operaciones en las que participe” [15] [16].

Haciendo referencia a la doctrina oficial de la Armada española aparecen mencionada como “*directivas emitidas a las Fuerzas Militares que definen las circunstancias, condiciones, grado y manera bajo las cuales las fuerzas militares podrán emplear la fuerza. El propósito general de las ROEs es proporcionar un medio mediante el cual las Autoridades de las naciones pueden controlar la actuación de la fuerza en situaciones de paz, tensión o crisis.*”

En la doctrina oficial de la OTAN son consideradas como “*directivas emitidas por la Autoridad militar competente en las que se especifican las circunstancias y limitaciones bajo las cuales las fuerzas iniciarán o continuarán un enfrentamiento con otras fuerzas.*”

En la Unión Europea se definen como “*aquellas directivas emitidas para los comandantes y las fuerzas militares (incluidos los individuos) que definen las circunstancias, condiciones, grado y manera*

en que la fuerza o aquellas acciones que pudieran ser interpretadas como una provocación pueden, o no, ser aplicadas. Las ROE no son utilizadas para asignar cometidos ni impartir instrucciones tácticas.”

Estas órdenes se materializan en forma de catálogos de autorizaciones y prohibiciones sobre el uso de las armas y la responsabilidad de quien las maneja. Para cada operación, el mando político es responsable de la dirección y guía política de las operaciones, que incluye, entre otros aspectos, las limitaciones y restricciones políticas referentes al uso de la fuerza que considere necesarias. A partir de esto, el mando estratégico y el operacional autorizan un conjunto de ROEs, también llamado paquete de ROEs, para esa operación en concreto [14].

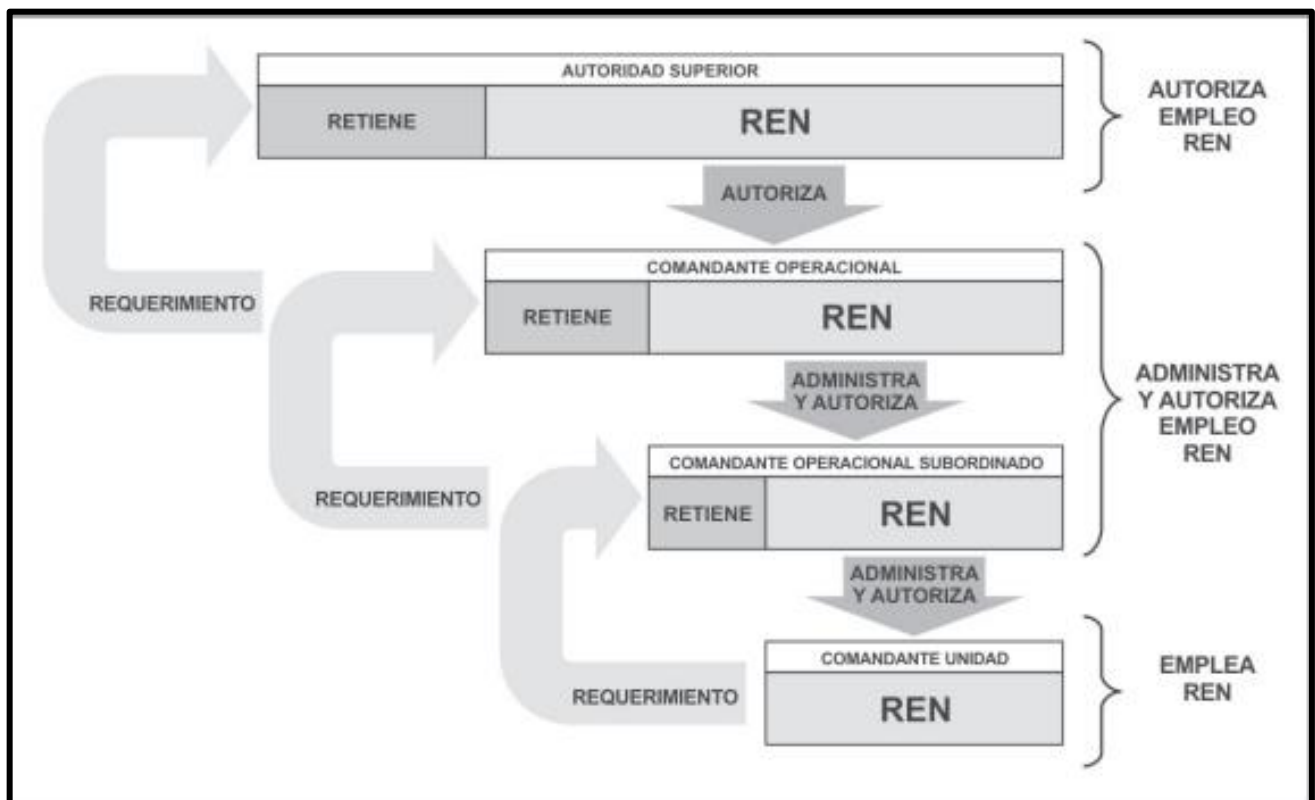


Figura 2-14 Cadena de Comando para las REN [17].

Como aparece referenciado en la Figura 2-14, los mandos deciden si delegar o no las diferentes ROEs a sus mandos subordinados hasta llegar al mando táctico. Estos pueden a su vez solicitar autorización de ROEs más permisivas en función del desarrollo del conflicto, que podrán ser autorizadas o no por la autoridad superior.

- **Defensa Personal o Legítima Defensa:**

La Legítima Defensa, es decir, la respuesta inmediata a un ataque ilegítimo, no se considera parte del ámbito de las ROEs, sino que está siempre presente, y nunca deja de ser válida independientemente de la situación. Para que la Legítima Defensa sea de aplicación, el peligro debe ser inminente, el uso de la fuerza indispensable y el empleo de esta proporcionado.

Por tanto, es necesidad clave saber diferenciar qué pertenece al ámbito de las ROEs y qué al de Legítima Defensa. Simplificándolo, se podría seguir la siguiente consideración para no caer en error: “toda acción que disponga de tiempo para pensar previa a ser ejecutada pertenece al ámbito ROE”.

- **Defensa Personal Extensible o Legítima Defensa Extendida:**

De manera homóloga a la aplicación de la Legítima Defensa y con sus mismos requisitos, la Defensa Personal Extensible supone la respuesta inmediata a un ataque ilegítimo sobre fuerzas aliadas, así como

sus bienes, que toman parte en una operación, o sobre personas o bienes protegidos por el DIH (Derecho Internacional Humanitario).

- **Derecho Internacional Humanitario:**

El DIH, también conocido como Derecho de los Conflictos Armados, es un conjunto de normas internacionales que busca limitar los efectos de los conflictos sobre personas no combatientes al igual que regular y limitar los métodos y medios bélicos.

Es uno de los grandes pilares sobre el que se asientan las ROEs y está consensualmente aceptado a nivel internacional.

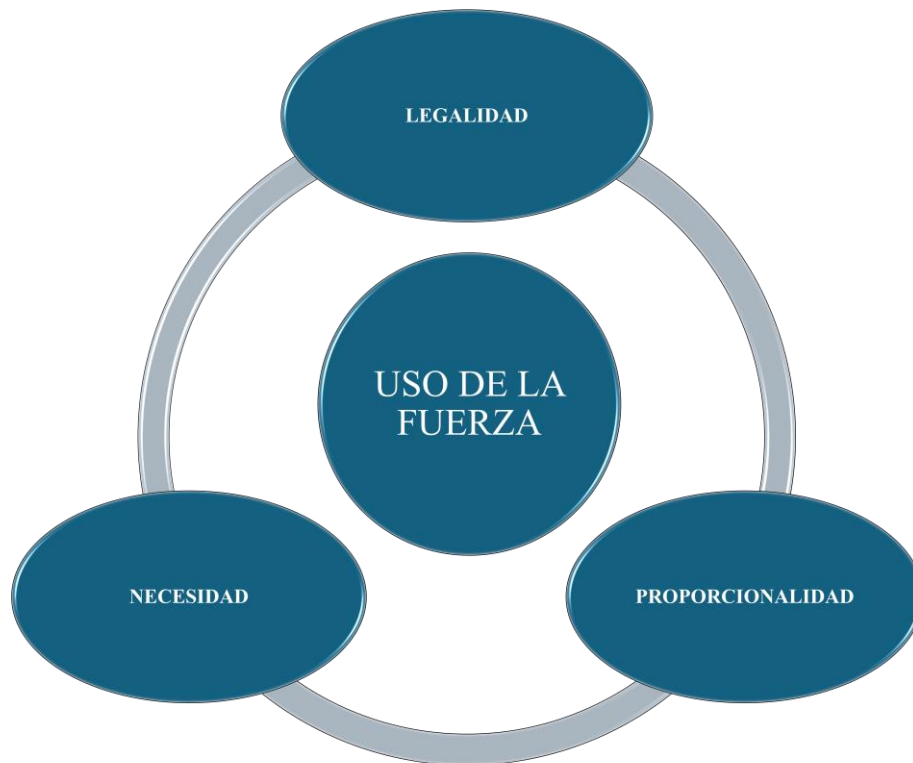


Figura 2-15 Principios del uso de la fuerza[18]. (Autoría propia)

En la Figura 2-15 se muestra cómo la fuerza, sea letal o no, tanto en el ámbito de las ROEs como en el de la Legítima Defensa, debe estar fundamentada en tres principios: legalidad, necesidad y proporcionalidad [18].

2.3 Simulación en el ámbito de la Defensa

La simulación es una parte vital de las capacidades de la Defensa. Está caracterizado por la interoperabilidad, la integración simultánea y la combinación. Estos requisitos tecnológicos deben ser satisfechos por todos los productos, ya que son reflejo de las necesidades del entorno operativo del usuario. Para entender mejor esta perspectiva existe la siguiente máxima: “Lucha como te has entrenado, y entrénate como vas a luchar”. El sentido último de la simulación se encuentra en la necesidad de evitar errores y de maximizar capacidades [19].

2.3.1 Historia de la simulación militar

La industria de la simulación militar ha alcanzado una notable madurez en las últimas décadas. Se ha producido una evolución desde de los primeros intentos mediados del siglo XX, todos ellos analógicos, hasta los actuales modernos y complejos simuladores que hacen uso de la realidad virtual y

que se caracterizan por poder conectarse en red o escalar según necesidades. Sin embargo, queda aún mucho por hacer, especialmente cuando se habla de las Fuerzas Armadas españolas, que quizá no destinan recursos suficientes a un área cada vez más determinante [20].

La historia de la simulación militar es tan antigua como la raza humana. Al inicio, desde que nuestros antepasados empezaron a competir por los recursos (lo que implicaba el uso de la violencia), se recurrían a técnicas de simulación para entender mejor los conflictos y obtener resultados favorables en los enfrentamientos que se sucedían. El combate al fin y al cabo está plagado de incertidumbre, y cubierto por lo que Carl von Clausewitz denominaba “niebla de la guerra”. Lo que buscaban por tanto era minimizar los riesgos, simulando de la manera más realista los posibles escenarios que se les podían presentar [20].

Por estos motivos, se podría decir que la historia del entrenamiento militar se remonta a los inicios de la Humanidad, más concretamente 5.000 años atrás, en la Edad de Bronce, siendo las primeras referencias juegos de guerra como el Wei Hai, de Sun Tzu (3.000 a.C.), el Chaturanga, antecedente del ajedrez que tiene su origen en India en torno al siglo VII a.C., cuyo tablero se observa en la Figura 2-16, y los primeros cajones de arena modelados por los romanos que simulaban el campo de batalla [20].

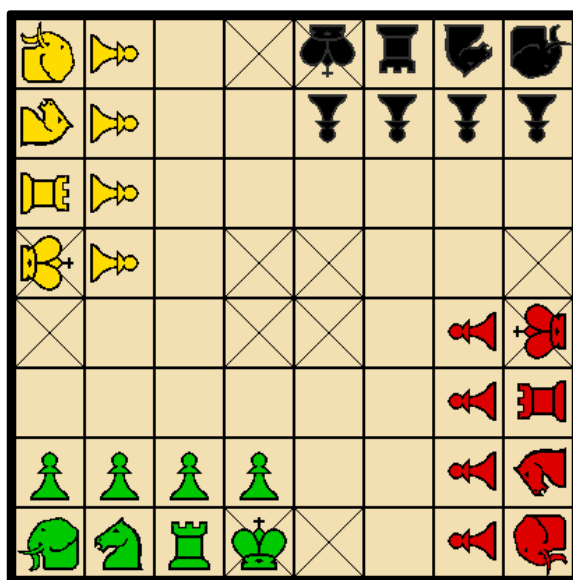


Figura 2-16 Tablero de Chaturanga o *Chaturaji* [20].

Avanzando en el tiempo, los vikingos recurrían a juegos de mesa, y en 1664 apareció en lo que ahora es Alemania el Koenigspiel, que derivó en el Kriegsspiel en 1811, un juego de guerra desarrollado por el ejército prusiano que se empleaba para enseñar táctica a los oficiales de nuevo ingreso. De manera paralela, en la Francia de Napoleón también se desarrollaron modelos matemáticos que permitieron a Napoleón preparar sus victoriosas campañas de forma similar a las operaciones militares contemporáneas. Los modelos matemáticos se siguieron desarrollando durante el siglo XX, dando lugar a juegos de guerra basados en ellos. Estos eran empleados para crear nuevas estrategias navales que utilizaban las flotas mundiales en sus enfrentamientos. El punto de inflexión se sitúa en la introducción de los ordenadores. Gracias a estos se pudieron añadir infinitud de variables a estos modelos matemáticos creando así lo que conocemos hoy en día como la simulación en el ámbito militar.

Con el paso de los años, esta simulación constructiva ha derivado en realidad virtual gracias a la revolución tecnológica, dando lugar a los primeros simuladores de vuelo, como el “Blue Box”, y el desarrollo de equipos de duelo láser para carros de combate o cazabombarderos. [20] Hasta el punto de que hoy en día son varias las instituciones que ofrecen cursos y prácticas de alto nivel a precios que pueden sobrepasar los 100.000 euros por diez días de instrucción, como el caso del *Wargaming Center* del *Naval Warfare Studies Institute* estadounidense [21]. Al contrario que en las Fuerzas Armadas

españolas, en estados como el Reino Unido se denota la importancia que conceden al *wargaming*, que incluso han llegado a publicar manuales sobre el tema para sus oficiales. Además, en el conflicto de Ucrania, estos juegos de guerra se han visto contrastados con la realidad, demostrando su validez como herramientas de entrenamiento y de prospectiva. Los simuladores han evolucionado desde los primeros simuladores electromecánicos hasta los simuladores inmersivos modernos, que se asemejan cada vez más a las plataformas o sistemas de armas que deben emular.

2.3.2 Simuladores en la actualidad

Como se ha mencionado, el adiestramiento simulado ha ganado fuerza a lo largo de los últimos años en el ámbito de la defensa, hasta el punto de que, actualmente, la OTAN y sus aliados está centrando sus esfuerzos en el adiestramiento de sus militares mediante módulos de entrenamiento virtual desde diferentes ubicaciones geográficas. Existe la posibilidad de, en una única sesión de entrenamiento, soldados de diferentes ejércitos y desde distintos países puedan practicar simultáneamente. Gracias al abrumador avance tecnológico del último siglo, se ha vuelto posible generar múltiples respuestas y resultados a partir de un solo dato de simulador con una relación efectividad/coste prometedora. De esta manera, los instructores pueden analizar el rendimiento individual de los soldados y de su equipo de manera sencilla y con un mayor criterio, ayudando en la toma de decisiones críticas, todo ello para la mejora de su adiestramiento en tiempo real [22] [23].



Figura 2-17 Programa de adiestramiento simulado SAAB [24].

Por tanto, el entrenamiento multinacional entre naciones aliadas y asociadas es una cuestión clave para todos los miembros de la OTAN. Actualmente se está dando una mayor atención a las capacidades de entrenamiento interoperables a nivel Brigada y de operaciones conjuntas para asegurar un aprendizaje efectivo, con el fin de estar preparados para amenazas actuales y futuras. De entre todas las empresas y asociaciones que están potenciando y desarrollando este tipo de adiestramiento destaca SAAB (Figura 2-17), que mantiene estrechas y duraderas relaciones con muchos países miembros de la OTAN, y opera siempre de acuerdo con los estándares establecidos por esta [24].

SAAB, acrónimo proveniente de *Svenska Aeroplan Aktiebolag* (Sociedad Anónima de Aeroplanos Suecos), es una empresa de defensa y aviación sueca fundada en Linköping en 1937 con el objetivo inicial de proporcionar aeronaves militares a Suecia. Siempre manteniéndose dentro del rango de la defensa militar y la seguridad privada, se han desarrollado desde entonces hasta día de hoy, que centra sus esfuerzos en sistemas de entrenamiento basados en la simulación para la defensa nacional. Estos sistemas de entrenamiento deben replicar de manera precisa todas las características de los respectivos sistemas de armas, así como el equipo debe replicar las características, la forma y la función exactas que

en tiempo real. Es extremadamente importante replicar características como el alcance, la balística y el tiempo de vuelo en sus versiones de entrenamiento, ya que asegura un aprendizaje correcto y evita la obtención de conclusiones incorrectas a partir de los ejercicios realizados [24].

Recientemente, el entrenamiento virtual ha sido vital en la preparación para misiones que requieren un alto rendimiento y abarquen objetivos altamente específicos. Gracias a esto, los mercados en los Estados Unidos, Europa, India, China, Rusia, Corea y Japón tienen una alta demanda en el sector de la simulación virtual, y países miembros de la OTAN están apostando fuertemente en el adiestramiento simulado. Además, las naciones punteras en tecnología militar están preparando la optimización de sus módulos de entrenamiento y simulación, buscando empresas que den soluciones a las limitaciones actuales de estos. El mercado que más desarrollo está teniendo, dentro de este ámbito, es el de los simuladores de cazas de combate, UAV, barcos, vehículos, artillería, armamento y entornos sintéticos. En otras palabras, la simulación está presente en gran parte de las plataformas y escenarios en el ámbito de las fuerzas armadas [23].

2.3.2.1 Posibilidades de la simulación en el adiestramiento

Para el adiestramiento y formación de militares, se han diseñado simuladores que consideran los aspectos físicos, ambientales y funcionales necesarios para que un soldado se involucre por completo en su entrenamiento. Estos requisitos determinan si se necesita una representación espacial detallada, con una calidad visual clara, y si el entrenamiento debe llevarse a cabo de día, de noche o en diferentes condiciones climáticas. Además, es posible que se requieran funciones operativas específicas que deben ser representadas con precisión para establecer una conexión efectiva entre el usuario y el entorno simulado.

Los sistemas de simulación son particularmente útiles para entrenar en escenarios con un alto grado de dificultad o empleados con relativa poca frecuencia. Muchas fuerzas armadas buscan tecnología de simulación avanzada porque ofrece una forma efectiva de entrenamiento que reduce la necesidad de equipos físicos costosos y permite una capacitación más adaptable y económica. Esta flexibilidad en los sistemas de entrenamiento procedimental permite que los alumnos se preparen de manera efectiva para una amplia variedad de situaciones de emergencia y peligro, las cuales serían difíciles de entrenar en condiciones reales.

2.3.2.2 Aporte de los videojuegos a la simulación militar

Cuando nos referimos a la simulación en el mundo militar, es fundamental mencionar los grandes avances que ha aportado el sector de los videojuegos. Una tecnología cuyo objetivo es el ocio del usuario que lo utiliza, es ahora la base sobre la que se entrenan militares para el combate. Este mercado está dando pasos gigantes con el realismo de sus gráficos, efectos especiales, mecánica de movimientos, sistema de proyección y realidad virtual entre otros.

Si bien los editores de videojuegos se esfuerzan por ofrecer experiencias de juego en entornos creíbles, es imposible abarcar todo el entorno operativo de un conflicto bélico. La inyección de elementos atmosféricos, la recreación de armas, material y terrenos realistas, y el establecimiento de una misión y objetivos a cumplir siguiendo unas limitaciones y reglas de enfrentamiento, hacen de los videojuegos grandes simuladores de entrenamiento para el combate [25].

No obstante, el entorno operativo real se caracteriza por su incertidumbre, aspecto que en los escenarios de muchos videojuegos está limitado al ser el mundo del juego un espacio cerrado y estructurado. En estos videojuegos se trata de representar la fatiga y el estrés del personaje, pero el jugador ni se pone en peligro real ni le supone una carga física el cumplimiento de la misión. Asimismo, el jugador se beneficia de medios de orientación y geolocalización muy lejos de las capacidades actuales, con un conocimiento detallado, en tiempo real, de su situación y la de sus compañeros, y el intercambio de información muy lejos de la realidad. Por otro lado, no existe la posibilidad de establecer una relación de mando creíble, de la misma manera que los objetivos establecidos están muy lejos de la ejecución de una misión en un marco operativo real [25].

Entendido todo lo presentado anteriormente, también se debe conocer la importancia de los videojuegos en el sector de la simulación. Si bien los avances en este sector en un principio solo se daban por inversiones en defensa, hoy en día hay un gran aporte monetario que es gracias a la inversión en entretenimiento y ocio. Han contribuido en la mejora de los gráficos y los efectos especiales, en la recreación de sistemas de armas y mecánicas de movimiento complejos, en el desarrollo de enemigos con inteligencia artificial, en el análisis de los resultados obtenidos tras una partida y en la representación de escenarios capaces de simular un entorno operativo realista, entre otras muchas aportaciones.



Figura 2-18 Videojuegos *Call of Duty* [26] y *Battlefield* [27].

Dentro de este sector encontramos el término “*Shooter*”, un subgénero que forma parte del género de acción en los videojuegos que se basa en eliminar enemigos disparando un arma y se relaciona directamente con el desarrollo de este proyecto [28]. Ejemplos de famosos videojuegos serían los mostrados en la Figura 2-18: *Call of Duty: Modern Warfare* [26], *Counter Strike* o *Battlefield* [27], que con el paso del tiempo han logrado depurar un producto de un realismo y fluidez sin precedentes.

2.3.2.3 Tipos de simuladores militares

Se pueden realizar diferentes clasificaciones en función de la perspectiva del autor que trate el tema. La más común se puede considerar la simulación en función de su naturaleza:

- **Constructiva:** se representa unidades, tanto propias como enemigas, y materiales con ambiente y efectos simulados que pueden ser modificados durante el desarrollo del ejercicio. Un claro ejemplo serían los juegos de guerra de los que ya se ha hablado. Son simuladores de entrenamiento de mando y control que evolucionaron desde los cajones de arena y sencillos mapas en papel, hasta la representación digital de centenares de unidades y con un gran número de variables.
- **Virtual:** mediante equipos con ambiente y efectos simulados (aulas de conducción, simuladores de tiro y tácticos de sección, etc). El ejemplo más conocido sería el simulador de tiro Víctrix. Son sistemas muy eficaces en toda la instrucción, pero especialmente para cursos de iniciación o academias de formación.
- **Real:** las unidades propias son enfrentadas a una fuerza de oposición (OPFOR) utilizando sus medios reales, pero simulando los efectos.

Otra posibilidad de clasificación sería según la finalidad perseguida, catalogándolos en: simuladores de apoyo a la enseñanza y a la instrucción; o simuladores de apoyo al adiestramiento y evaluación. También existen otro tipo de simuladores que no encajan en los apartados anteriores, a pesar de que se

pueden considerar simuladores militares. Es el caso de los *serious games*, basados en juegos de ordenador comerciales; o los entrenadores de subcalibre, que recurren a armas de calibre más reducido que le original. [20]

2.3.2.4 Simuladores en las FAS españolas

Las Fuerzas Armadas apuestan por los sistemas virtuales para alcanzar la eficacia en el adiestramiento de las unidades y en la planificación de sus misiones. Hoy en día, la simulación constituye una herramienta fundamental en la preparación para el combate de los miembros de las Fuerzas Armadas y en la planificación y conducción de operaciones, tanto en escenarios ficticios como en los que despliegan actualmente contingentes españoles. Las Fuerzas Armadas españolas pueden presumir de tener una amplia gama de simuladores para el adiestramiento de militares de los tres ejércitos, y no exclusivamente en el ámbito docente, ya que incluso en las unidades de destino la simulación permite un seguimiento personalizado de la formación del alumno y del militar [29]. Se va a describir alguno de los más importantes que posee cada ejército:

- **Ejército de Tierra:** enfocado en el uso intensivo de sistemas de simulación para cubrir todas las fases de entrenamiento y adiestramiento de sus miembros. Estos sistemas están disponibles a nivel compañía y batallón, y la meta final es conectar todos los simuladores de la fuerza terrestre para formar la llamada “federación de simuladores”. Dentro de esta federación se conformará la “pirámide de simulación”, en la que cada sistema cumple una función específica. La base es la instrucción individual de los combatientes, mientras que la cúspide es el entrenamiento simulado asistido por ordenador para todos los componentes y medios tácticos. En esta rama del ejército es donde la utilización del simulador de tiro Víctrix está más extendida. Por un lado, *Battle Space 2* (Figura 2-19) permite al usuario la práctica de estrategias seguidas en el despliegue de unidades de combate y mecanizadas en todo el campo de batalla en el que se desarrollan conflictos a gran escala. Asimismo, para adiestramiento de las Fuerzas Aeromóviles del Ejército de Tierra se encuentra en Colmenar Viejo el CESINFAMET. En este recinto existen simuladores de toda clase de aeronaves como los Tigre o los UAV, formando conjuntamente el Simulador de Adiestramiento para el Ejército de Tierra o SAETA, con capacidad de ejecución de ejercicios para PM (Planas Mayores) asistidos por ordenador [29].



Figura 2-19 Simulador del ET *Virtual BattleSpace 2* [30].

- **Ejército del Aire y del Espacio:** proporcionar horas de vuelo de calidad en el simulador con el objetivo de reducir las horas de vuelo de sus pilotos fuera de este. Destacan el simulador del caza F-18 (Figura 2-20) o el del *Eurofighter*. Este último permite al piloto realizar simulaciones de fuego sin la necesidad de exponerse a los peligros generados durante un vuelo en un adiestramiento no simulado. No es exclusivo de los azas, sino que otros aviones de mayor porte del arma aérea como el C-235 o el A400 también posee su propio simulador. Al igual que el ET, el Estado Mayor del Ejército del Aire y del Espacio ha logrado

interoperabilidad entre sus distintos simuladores de vuelo e incluso se prevé que se realice también con unidades de la Armada [29].



Figura 2-20 Simulador F-18 *Super Hornet* del EA [31].

- **Armada española:** posee gran variedad de simuladores. Comenzando por ejemplos cercanos, el simulador de navegación de la Escuela Naval Militar (Figura 2-21), en el que los alumnos tienen la posibilidad de maniobrar cualquier plataforma de superficie de la flota virtualmente. El simulador ofrece diversas opciones de adiestramiento, desde una entrada en puerto, fondeo de precisión o navegación en condiciones de visibilidad reducida. Características de la navegación como abatimiento, mala mar, arco nocturno o densidad de tráfico, ponen a los futuros oficiales en situaciones de estrés ideales para el adiestramiento en la toma de decisiones.



Figura 2-21 Simulador de navegación de la ENM [32].

Otro simulador de interés ubicado asimismo en la ENM sería el Galeón. Consta de cinco cabinas con comunicaciones de varios tipos que tiene como objetivo el adiestramiento de Alféreces de Fragata en cualquier escenario de conflicto. El Galeón simula el CIC de una fragata y posee todo tipo de sensores, armas y posibilidades para el adiestramiento. De manera adicional a los simuladores que se han mencionado de la Escuela Naval Militar, en esta academia también se lleva a cabo el adiestramiento de los oficiales de Infantería de Marina, y es por ello por lo que dispone de dos simuladores de tiro Víctrix para el adiestramiento de estos alumnos en un ámbito tan importante como es el tiro de combate y el tiro de precisión.

De modo similar, existen simuladores para todo tipo de plataformas de la Armada, tal es el caso de el simulador de submarinos y cazaminas en Cartagena, el centro de instrucción de

seguridad interior de Ferrol, o los simuladores de vuelo del AV-8B y SH-60B de la Flotilla de Aeronaves [29]. Cabe destacar que, debido a la naturaleza de su trabajo, el cuerpo de Infantería de Marina utiliza varios de los simuladores de adiestramiento del Ejército de Tierra. Buen ejemplo de esto sería el personal de tropa de Infantería de Marina que emplea un simulador Mistral para el curso de aptitud de Armas Antiaéreas [33].



Figura 2-22 Simulador Mistral del ET [33].

2.3.2.5 Simulador de tiro Víctrix

El simulador Víctrix, desarrollado y mejorado por la compañía global de tecnología Indra, permite a los soldados entrenar en un entorno virtual urbano con un gran grado de detalle y precisión, con el objetivo de lograr una ejecución perfecta en las misiones. El simulador se sirve de gafas de realidad virtual y permite a los soldados compartir escenarios virtuales y entrenar de forma conjunta con compañeros de otras bases, eliminando barreras geográficas. Además, el sistema utiliza tecnologías de representación 3D y posicionamiento óptico para detectar la posición de los soldados con precisión milimétrica y baja latencia, permitiendo que el simulador reproduzca virtualmente todos sus movimientos [34].



Figura 2-23 Simulador Víctrix del Tercio Armada [35].

En 2016, las Fuerzas Armadas españolas contaban con un total de 34 simuladores de tiro Víctrix, entre ellos el empleado en el Tercio Armada en Cádiz, mostrado en la Figura 2-23. Los primeros fueron entregados a España en 2007 de la mano de la empresa ya mencionada Indra. Desde entonces, se han

adaptado a escenarios de misiones contemporáneas: Afganistán, Malí o combates urbanos. Asimismo, se usan en el ámbito policial [36].

El nuevo Víctrix VR permite repetir las operaciones y analizar los riesgos, estudiar tácticas y anticipar la respuesta del adversario, proporcionando un entrenamiento de siguiente generación para soldados que se enfrentan a misiones cada vez más complejas [34]. Actualmente, la Escuela Naval Militar tiene el placer de poseer dos de estos simuladores en su interior para el adiestramiento en tiro de sus alumnos del cuerpo de Infantería de Marina, tras la reciente adquisición de uno más moderno.

2.4 Tecnologías i4.0

A través de la tecnología 4.0 se consigue el desarrollo de la industria 4.0 dentro del marco en el que nos encontramos de la Cuarta Revolución Industrial, la cual supone la digitalización del sector manufacturero; esto lleva ante un aumento exponencial de los volúmenes de datos, de la potencia de computación y de la conectividad entre equipos y sistemas.

Estas nuevas tecnologías, a pesar de encontrar su origen en la industria, hoy en día se pueden encontrar prácticamente en cualquier ámbito social (adiestramiento militar, educación, marketing, etc).

Dentro de estos ámbitos mencionados, han permitido el desarrollo de productos y servicios nuevos e innovadores, como es el caso de la simulación. En este apartado se tratarán los conceptos y tecnologías relacionadas con la simulación y que serán de utilidad en el desarrollo del proyecto. Profundizaremos en: Gamificación, Inteligencia Artificial y Realidad Virtual, Aumentada y Mixta.

2.4.1 Gamificación

La ludificación o gamificación es una técnica de aprendizaje que aplica en el ámbito educativo-profesional la mecánica de los juegos con el fin de absorber conocimientos o mejorar alguna habilidad para recompensar acciones concretas.

Teniendo asimiladas unas dinámicas de juego que buscan implicar al usuario a jugar y seguir adelante en la consecución de objetivos, el instructor deberá explotar las dinámicas que se persigan. De esta manera se desarrollarán cualidades en el alumno como la competitividad, la solidaridad y la cooperación, dependiendo del objetivo buscado en el juego.

Cualquier actividad realizada en contexto de la gamificación busca lograr tres claros objetivos: fidelización con el alumno, al crear un vínculo con el contenido que se está trabajando; ser una herramienta contra el aburrimiento y motivarles; finalmente, optimizar y recompensar aquellas tareas en las que el único incentivo es el propio aprendizaje [37].

2.4.2 Inteligencia Artificial

Entre todas las tecnologías que permiten el desarrollo de la industria 4.0, existe una que se puede considerar la más innovadora e importante de todas. La Inteligencia Artificial es un término complejo de definir, ya que varía dependiendo del ámbito en el que se aplique, y, sin embargo, lleva desarrollándose más de cincuenta años y posee gran popularidad hoy día, gracias al incremento en los volúmenes de datos, algoritmos avanzados, y mejoras en el poder de cómputo y el almacenaje.

De manera simplificada, la IA es una tecnología que hace posible que las máquinas aprendan de la experiencia y se adapten a situaciones cambiantes, ajustando su comportamiento en función de esta, y realicen tareas como seres humanos. Las tecnologías de hoy día que recurren a Inteligencia Artificial, en su mayoría, recurren al aprendizaje profundo y el procesamiento del lenguaje natural, siendo capaces de procesar grandes cantidades de datos y reconociendo patrones en estos.

La Inteligencia Artificial se hace posible combinando las grandes cantidades de datos almacenadas con sistemas de procesamiento rápido e iterativo y algoritmos “inteligentes”. Esto permite a las máquinas identificar patrones y características en los datos de manera automática y de este modo “aprender”.

Si entramos en el ámbito de la simulación, a través de la IA se podrían generar personajes cuyo comportamiento se asemejaría al del ser humano. Esto, en simuladores de adiestramiento de combatientes, permitiría crear escenarios realistas en los que los actores, controlados por Inteligencia Artificial, puedan actuar y tomar decisiones de forma independiente [38].

2.4.3 Realidad Virtual, Aumentada y Mixta

La realidad es un concepto que se ha definido de infinitas maneras, pero ¿qué es en verdad? Se podría reducir a lo siguiente: todo aquello que percibimos a través de los sentidos. A raíz de esta definición nos surgiría otra pregunta, ya que, si modificamos lo que sentimos, vemos y oímos a nuestro antojo, ¿qué sería real? Es aquí donde nace el concepto de realidad virtual, que consiste en, a través de unos sistemas y equipos, presentar una realidad diferente de la que se encuentra a nuestro alrededor.

Innumerables compañías de diversos sectores están apostando por sustituir la manera en la que percibimos nuestra realidad por una alternativa, buscando esta realidad virtual. Y si fuera poco, a raíz de este primer término han surgido otros dos nuevos conceptos, que, si bien están íntimamente relacionados, se debe entender en qué consiste cada uno y las diferencias que los separan: realidad aumentada y realidad mixta [39].

- **Realidad Virtual:** tecnología capaz de sustituir nuestro entorno por otro generado digitalmente. Se consigue a través de un casco o gafas y auriculares de VR, permitiendo una inmersión completa en un mundo puramente virtual. Esto ofrece la posibilidad al usuario de “transportarse” en el tiempo o a otro lugar, viviendo todo tipo de experiencias que se sientan como si ocurrieran en la vida real. También cabe la posibilidad de emplear controladores o dispositivos que permitan la interacción con el mundo virtual, logrando una experiencia más realista e inmersiva [39].



Figura 2-24 Experiencia VR Zero Latency [40].

En el ámbito del ocio, los videojuegos de realidad virtual están ganando más y más popularidad, como es el caso del videojuego multijugador VR “Zero Latency”, mostrado en la Figura 2-24. En esta Realidad Virtual Interactiva varios jugadores se ven inmersos en un entorno virtual que les permite interactuar con el propio entorno incluso entre ellos mismos.

- **Realidad Aumentada:** La AR permite superponer capas de información permitiendo introducir contenido virtual en el mundo físico en el que nos encontramos. La principal diferencia con Realidad Virtual es que no cambia por completo lo que percibimos a través de los sentidos, sino que añade más información a este. Por otro lado, la VR se encuentra

limitada por el lugar físico en el que se encuentra en el momento de la experiencia, mientras que la Realidad Aumentada permite al usuario mayor movilidad, usarla allá donde vaya. De este tipo de tecnología cabe destacar el éxito que tuvo Pokémon-Go hace unos años, en el que los usuarios recorrían la ciudad tratando de atrapar criaturas que, mediante la cámara del teléfono móvil, se superponían sobre el mundo físico real, permitiendo al jugador interactuar con ellas [39].



Figura 2-25 AR en Pokémon Go [41].

De este tipo de tecnología cabe destacar el éxito que tuvo Pokemon Go hace unos años, en el que los usuarios recorrían la ciudad tratando de atrapar pokémones. Mediante la cámara del teléfono móvil, estas criaturas se superponen sobre el mundo físico real, permitiendo al jugador interactuar con ellas, como aparece en la Figura 2-25.

- **Realidad Mixta:** Esta tecnología consiste en una combinación “inteligente” de las expuestas anteriormente. Se produce una fusión del mundo real y el virtual, donde los elementos virtuales emplazados en el mundo real son “conscientes de su entorno”, adaptándose a él y siendo afectados de la misma forma que los elementos reales.

2.5 Software y equipo

En este subapartado se procede a explicar el software y el equipo empleado durante el desarrollo del escenario de combate para el adiestramiento. De esta manera, se comenzará explicando los diferentes programas de software de los que se ha hecho uso con una breve explicación de cada uno, para finalizar con la explicación de los componentes cruciales del equipo utilizado en el desarrollo del proyecto.

2.5.1 Software

Para el desarrollo del escenario de combate, desde su diseño y modelado hasta los más pequeños detalles añadidos, se han empleado los siguientes softwares: *Epic Games*, *Quixel Suite* y *Unreal Engine 5.3*. Por otro lado, mediante *Autodesk Inventor Pro* se han modelado los edificios que más adelante se

han introducido en el proyecto. Finalmente, mencionar *Sketchfab* como librería virtual para generar las bibliotecas de armamento y personajes.



Figura 2-26 Software empleado. (Autoría propia)

Los diferentes logos de los principales programas de software empleados aparecen en la Figura 2-26, de izquierda a derecha: *Epic Games*, *Quixel Suite*, *Unreal Engine*, *Autodesk Inventor* y *Sketchfab*.

2.5.1.1 Epic Games

Epic Games es una empresa estadounidense fundada 1991, líder actual en el entretenimiento interactivo y proveedora de tecnología de motores 3D. Ofrece a usuarios, jugadores o desarrolladores, una amplia gama de aplicaciones, servicios y bibliotecas para su disfrute personal o para el desarrollo de videojuegos, cine, arquitectura u otras industrias en motores de juego como *Unreal Engine*. Epic opera uno de los juegos más grandes del mundo, *Fortnite*, el cual es un vibrante ecosistema de experiencias de entretenimiento social, que incluye juegos propios como experiencias de los creadores. Actualmente, *Epic Games* cuenta con más de 800 millones de cuentas y más de 6000 millones de jugadores conectados. A través de sus videojuegos, *Unreal Engine*, la *Epic Games Store* y *Epic Online Services*, la empresa proporciona un ecosistema digital completos para que los creadores y los desarrolladores creen, distribuyan y operen juegos y otros contenidos [42].

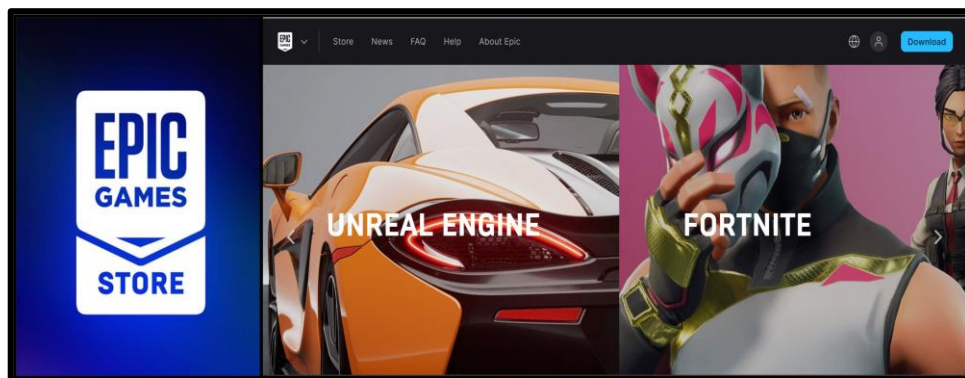


Figura 2-27 Epic Games Home [42].

La página de inicio de *Epic Games* se muestra en la Figura 2-27, desde la que se puede descargar el *Epic Games Launcher* que brindará acceso a la *Epic Games Store*, la biblioteca de la cuenta personal, con acceso a las aplicaciones, servicios y videojuegos descargados, y el acceso al motor de juego *Unreal Engine 5*.

Desde 2021, como parte de la familia *Epic Games*, se encuentra *Sketchfab*. *Sketchfab* es una plataforma utilizada para visualizar y compartir contenido 3D en línea. Proporciona un visualizador de modelos 3D basado en tecnología *WebGL* que permite reproducir estos modelos tanto en páginas web para dispositivos móviles como de escritorio. Además, ofrece un portal comunitario donde los visitantes pueden navegar, calificar y descargar modelos 3D públicos. Tiene la ventaja de ser compatible con diversos programas 3D, como *3DS Max*, *SketchUp* o *Blender* [43].

Sketchfab facilita descubrir, editar, comprar y vender contenido 3D directamente a través de sus servicios web y es el hogar de más de 4 millones de elementos 3D. Su tecnología se integra con las principales herramientas de creación 3D y plataformas de publicación, siendo compatible, como se ha

mencionado, con los principales navegadores y sistemas operativos, tanto de escritorio como móviles. A partir de esta unión, *Epic* y *Sketchfab* han conseguido hacer el contenido 3D, AR y VR más accesible y hacer crecer el ecosistema de creación, puntos críticos para un Metaverso abierto e interconectado.

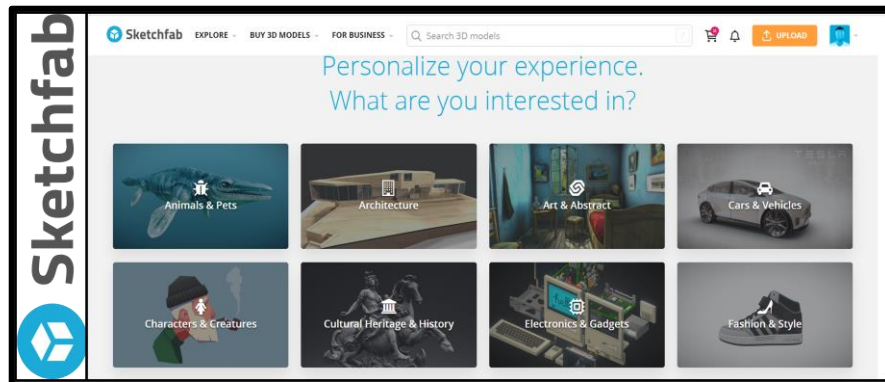


Figura 2-28 Página inicio de *Sketchfab* [43].

Esta plataforma ofrece millones de elementos 3D, cuya temática también varía en sobremedida, como se puede observar en la Figura 2-28.

2.5.1.2 *Unreal Engine 5*

Como se ha mencionado, *Unreal Engine* es un motor de juego de código abierto creado por la empresa *Epic Games* y accesibles a través de la *Epic Games Store*. Sirve para crear videojuegos, experiencias de realidad virtual y aplicaciones interactivas. Con más de 20 años de desarrollo, se ha convertido en una de las herramientas más avanzadas y completas para los programadores y diseñadores.

En el ámbito de los videojuegos, *Unreal Engine 5* permite la creación de proyectos en diversas modalidades, incluyendo escenarios en 2D, en primera y tercera persona y escenarios en Realidad Virtual. Los videojuegos más populares de la última década, fruto de este motor, serían *Fortnite*, *PUGB*, *Mortal Kombat 11* y, más recientemente, *Hogwarts Legacy* (Figura 2-29). Su funcionalidad, sin embargo, va mucho más allá de esta área: en 2022, los ingenieros aeroespaciales de la NASA aplicaron la tecnología de *Unreal* para visualizar el terreno lunar [44].

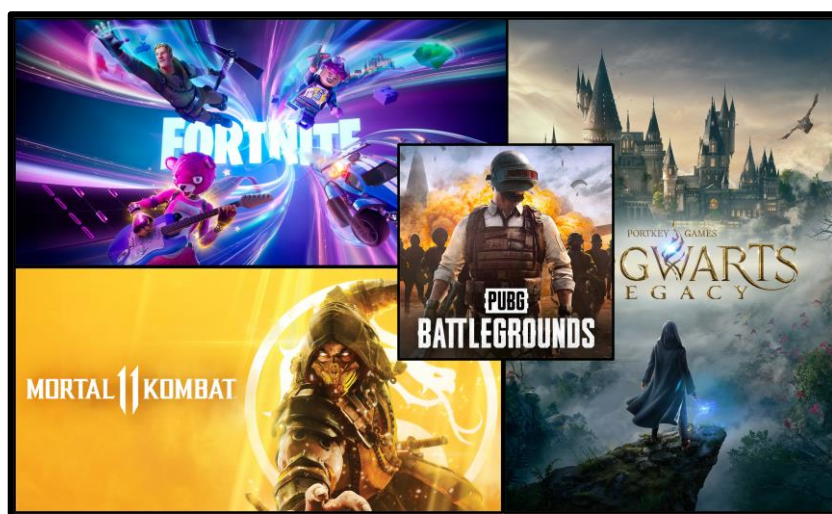


Figura 2-29 Videojuegos creados con UE. (Autoría propia)

Unreal Engine permite al desarrollador escoger entre dos tipos de programación: el clásico lenguaje de programación multiparadigma C++ o el código *Blueprint* que se trata de un lenguaje de programación multimodal.

Los creadores de las películas taquilleras “*The Mandalorian*” y “*Ford Vs Ferrari*” se sirvieron de esta tecnología para crear efectos visuales, ambientes futuristas y escenas de acción intensas. Otro ejemplo de uso de UE (*Unreal Engine*) es en la arquitectura y el diseño de interiores. Las empresas hacen uso de esta herramienta para crear modelos 3D de edificios y espacios, dando la opción al cliente de visualizar el proyecto previo a su construcción. Estos ejemplos se muestran en la Figura 2-30 [44].



Figura 2-30 UE en el cine y la arquitectura. (Autoría propia)

Para el presente proyecto se ha empleado la versión de *Unreal Engine 5.3.2*. La última actualización obtenida a través de *Epic Games Store*.

De la mano de UE se encuentra *Quixel Suite*, un conjunto de herramientas render que permiten crear y editar materiales PBR. Esta herramienta tiene la capacidad de comunicarse con, además de *Unreal Engine*, *3DS Max*, *Maya*, *Unity*, *Blender* y *Photoshop*, entre otros. Esta aplicación gratuita consta de tres programas: *MegaScans*, *Mixer* y *Bridge*.

- **Quixel MegaScans** es una biblioteca masiva de escaneos en línea de alta resolución, con calibración PBR (*Physically Based Rendering*) de superficies, vegetación y escaneos 3D. Posee más de 10 mil recursos de fotogrametría, además de diversas aplicaciones de escritorio para gestionar, mezclar y exportar los datos de escaneo descargados. Esta biblioteca es completamente gratuita y fácilmente accesible desde *Unreal Engine* (Figura 2-31).
- **Quixel Mixer** es una aplicación de texturización gratuita que permite combinar y modificar materiales, pintar sobre modelos 3D, así como crear *assets* personalizados.
- **Quixel Bridge** sirve como herramienta de apoyo para navegar, buscar, descargar, importar y exportar archivos de *MegaScans*. A través de sus funciones de importación personalizada, empaquetado de canales y exportación automatizada, permite gestionar los trabajos en el mismo espacio y ahorrar tiempo a los diseñadores. Bridge es el puente a todo un universo de contenido 3D dentro de *Unreal Engine*.



Figura 2-31 Ejemplo de *MegaScans*. (Autoría propia)

2.5.1.3 Autodesk Inventor Pro

Se trata de un software, desarrollado por la empresa Autodesk, de diseño asistido por ordenador (CAD) para el modelado mecánico en 3D, la simulación, la visualización y la documentación. Inventor facilita la integración de datos 2D y 3D en un único lugar, creando una representación virtual que permite a los usuarios validar la forma, el ajuste y la función, además de visualizar el objeto previo a su fabricación. Incluye herramientas de modelado paramétrico, directo, de forma libre y basado en reglas, así como capacidades de traducción multi-CAD (*Computer-Aided Design*) en sus dibujos computarizados DWG (*DraWinG*) [45].

Es un programa altamente utilizado por ingenieros mecánicos que requieren de herramientas automatizadas y especializadas para diseñar y prepararse para la fabricación. Tiene infinidad de funciones, las principales podrían considerarse las siguientes: modelado paramétrico, modelado de ensamblajes, creación de dibujos, colaboración mediante vistas compartidas, trabajo con datos no nativos, diseño automatizado de armazones, definición basada en modelos, centro de contenido y generador de forma, entre otras.

En lo referido a este proyecto, la herramienta de este software de modelado paramétrico, directo, de forma libre y basado en reglas, lo hace ideal para el diseño y modelado de los bloques de edificios que conformarán el poblado de instrucción del escenario. La posibilidad de guardar elementos 3D en diversos tipos de formatos es lo que le hace directamente compatible con *Unreal Engine*, permitiendo importar en el motor de juego los trabajos realizados en el software de *Autodesk*.

2.5.2 Equipo y Material empleados

El espacio de trabajo en el cual se desarrolló el proyecto fue el Laboratorio de Realidad Virtual dentro de los Laboratorios de Investigación del CUD, en las instalaciones de la Escuela Naval Militar. Allí se contó con un teclado, ratón, pantalla y una CPU de altas prestaciones, imprescindible para el desarrollo de un proyecto tan tecnológicamente exigente como es la creación de un escenario de combate en *Unreal Engine 5*.



Figura 2-32 Laboratorio de VR. (Autoría propia)

Además del material mencionado presente en la Figura 2-32, debido a los requerimientos del software y la visualización en VR, han sido necesarios otros dos elementos: las gafas de realidad virtual *Meta Quest 3*, que supone la interfaz cerebro-máquina para la inmersión en el escenario virtual; y una

tarjeta gráfica VR *Ready* (por sus prestaciones permita la visualización en un entorno de Realidad Virtual), que en este caso se adquirió la tarjeta gráfica EVGA GEFORCE RTX 3080.

2.5.2.1 Gafas VR Meta Quest 3

Meta Quest es una línea de productos de realidad extendida creada por *Meta Platforms*, anteriormente conocida como *Facebook Inc.* Nació de la base de *Oculus*, empresa creada en 2012 que acabó anexionándose a *Facebook* y derivando en *Meta*. Tras esto, *Meta Quest* se convirtió en una de las más grandes familias de gafas de inmersión creadas para ofrecer experiencias interactivas 3D a diversos usuarios [46].

Las primeras gafas *Meta Quest*, presentadas en 2019, eran una versión renovada de las *Oculus* del mismo nombre, y se convirtieron en poco tiempo en las gafas de VR más atractivas para el consumidor. Tras estas, en 2020, *Meta* lanzó las *Meta Quest 2* (Figura 2-33), para que 3 años más tarde derivasen en las usadas en el presente proyecto: *Meta Quest 3*.



Figura 2-33 Gafas Meta Quest 2 [47].

Actualmente, las gafas de VR *Meta Quest 3* son la última versión de las gafas *Meta Quest*. Fueron presentadas por *Reality Labs* en junio de 2023, y puestas a la venta en octubre de ese mismo año. Presentan una serie de mejoras con respecto al modelo *Quest 2*. Viene con mandos elegantes y ergonómicos, sin los anillos de seguimiento utilizados en los dispositivos anteriores; la nueva pantalla de 2064x2208 píxeles casi duplica a las lentes de 1382x1920 píxeles del modelo predecesor; *Meta* actualizó sus lentes de Fresnel de un solo elemento a lentes de panqueque, mejoró su frecuencia de actualización y actualizó el procesador *Snapdragon XR2* a su versión “Gen 2”; a diferencia de *Quest 2*, que sólo permite el blanco y negro, esta versión admite la visualización del entorno real a todo color para la realidad mixta [47].

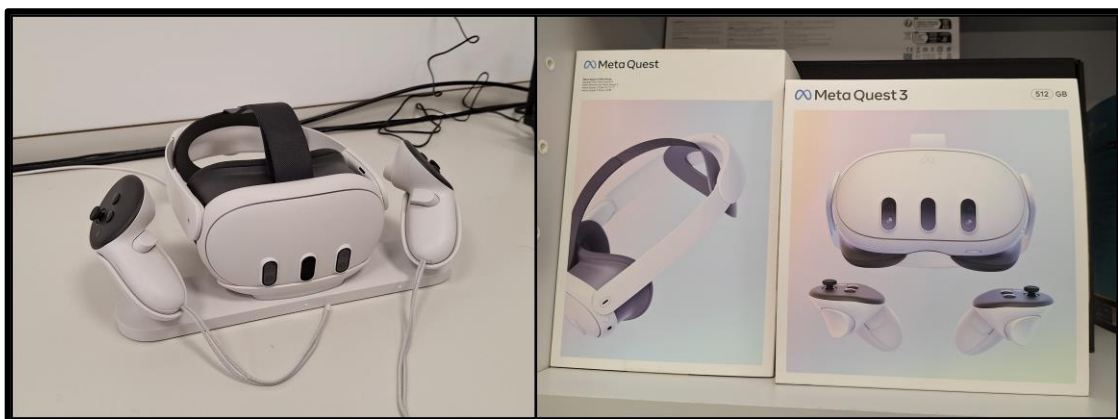


Figura 2-34 Gafas Meta Quest 3 [47].

En el laboratorio se contaba con lo mostrado en la Figura 2-34: Gafas *Meta Quest 3* con interfaz estándar ajustable preinstalada, dos controladores *Touch Plus* con correas para las muñecas y una base de carga. Estas gafas permiten una inmersión virtual completa en videojuegos, películas, entrenamientos, entre otras cosas, pero también presentan infinidad de funciones para la realidad mixta. Conectándolas vía *Steam Link*, sin necesidad de cable alguna, se podrá disfrutar de una inmersión completa en el escenario de combate con libertad de movimiento plena (limitada por el espacio físico en el que se encuentre el usuario).

2.5.2.2 Tarjeta Gráfica EVGA GEFORCE RTX 3080

Debido a la elevada demanda de recursos del motor de juego y a la implementación de Realidad Virtual, se ha hecho uso de una tarjeta gráfica VR Ready, en concreto EVGA GEFORCE RTX 3080, con arquitectura NVIDIA Ampere, que cuenta con 10GB GDDR6X (*Graphics Double Data Rate 6X*) de capacidad de memoria de video y con aceleración por IA de DLSS. Se muestra en la Figura 2-35.



Figura 2-35 Tarjeta gráfica instalada lista para su uso [48].

DLSS (supermuestreo de *deep learning*), creada por NVIDIA, es una nueva tecnología de renderizado de IA que lleva la capacidad visual a un nuevo nivel mediante el uso de procesadores de IA de núcleos “Tensor” dedicados en las GPU GeForce RTX. Esta tecnología aprovecha la potencia de una red neuronal de *deep learning* para aumentar la velocidad de fotogramas y generar imágenes atractivas y nítidas para los videojuegos. Asimismo, tiene la capacidad de aumento necesaria para optimizar la configuración de trazado de rayos y aumentar las resoluciones de salida [48].

3 DESARROLLO

3.1 Descripción del apartado

En este apartado se procede a describir paso a paso el desarrollo del presente proyecto en el que se ha creado un escenario 3D virtual apto para el adiestramiento del combatiente en ambiente urbano, que hoy en día cobra cada vez más importancia en los conflictos bélicos. Para ello se ha aplicado modelado y técnicas de diseño asistido por ordenador (CAD) en este escenario, creando un entorno de Realidad Virtual que facilite una experiencia más inmersiva para el usuario.

Para conseguir esto último, se ha seleccionado una localización que facilite el aprendizaje de los alumnos de infantería de marina de la Escuela Naval Militar. Este escenario seleccionado se ha modelado junto con todos sus componentes, dotándole de una apariencia realista y reconocible por el usuario, para garantizar una experiencia inmersiva mediante unas gafas de realidad aumentada que permitan al alumno desplazarse por todo el entorno. Estas etapas se reflejan en la Figura 3-1.



Figura 3-1 Etapas del proyecto. (Autoría propia)

3.2 Escenario

3.2.1 Aplicación del simulador

Antes de entrar de lleno con el escenario elegido y el modelado del mismo, es conveniente establecer la aplicación del simulador fruto de este proyecto, que cobra gran importancia en el adiestramiento de los alumnos de infantería en ambiente urbanizado.

En el último siglo los conflictos bélicos han estado en constante evolución, desde guerra convencional hasta guerra asimétrica. En los años más recientes, los combates se han empezado a desarrollar en torno a núcleos urbanos y en sus proximidades, cobrando gran relevancia las operaciones militares en terreno urbano (MOUT), hecho que se ha visto reforzado por los recientes enfrentamientos: Beirut, Argel, Afganistán, Irak, Gaza, etc.

Es por esto por lo que la creciente complejidad de los escenarios de seguridad contemporáneos exige líderes capacitados en este tipo de operaciones mencionadas. En este contexto, el MOUT se presenta como un componente esencial para abordar los desafíos de seguridad actuales. La formación de líderes con profundos conocimientos en este ámbito en las academias de defensa nacional no sólo responde a la evolución de los conflictos urbanos, sino que se erige como una estrategia fundamental para enfrentar la realidad actual, estrategia utilizada y probada en diversos escenarios internacionales.

En la compleja situación vivida hoy en día, la aplicación efectiva de tácticas y estrategias MOUT se considera un recurso clave para la gestión de complejos entornos urbanos donde pueden surgir amenazas en contextos civiles, necesitando de una respuesta rápida y eficaz [49].

Se trata de un desafío que requiere de líderes capacitados y actualizados en seguridad y defensa nacional, adecuadamente instruidos en técnicas de MOUT. Esto les proporcionará capacidad para abordar situaciones urbanas complejas, gestionar interacciones con la población civil y preservar los derechos humanos. Desde este punto de vista, la importancia de desarrollar este tipo de líderes radica no sólo en la preparación táctica, sino también en su capacitación para tomar decisiones de acuerdo con unos valores y ética en situaciones urbanas críticas. Este enfoque integral contribuirá no sólo a fortalecer las capacidades operativas de las fuerzas de seguridad, sino también a la estabilización de un entorno SASE [49].

De la misma manera, este adiestramiento se debiera aplicar a los oficiales de Infantería de Marina que se adiestran en la Escuela Naval Militar. Como oficiales tendrán el cometido en un futuro de liderar y adiestrar a sus soldados y suboficiales, y prepararlos de esta manera para la seguridad y defensa nacional. Además de que deben poseer conocimiento tácticos y técnicos para aplicar en diferentes tipos de conflictos, entre los que se encuentran los desarrollados en ambiente urbano. Un oficial de Infantería de Marina debe estar preparado para afrontar operaciones MOUT con soltura y agilidad, y esto incluye tanto el conocimiento de los procedimientos y técnicas necesarias, que se depuran a base de práctica constante, como la capacidad de liderazgo y, en este caso, desde un punto de vista ético.

Por lo tanto, la BRIMAR (Brigada de Infantería de Marina) posee varias instalaciones preparadas para el adiestramiento de su fuerza en este tipo de entorno. Más concretamente, los oficiales alumnos que se adiestran en la ENM disponen de varias zonas de entrenamiento para los procedimientos MOUT que se encuentran próximas a su academia.

El problema reside en que estas instalaciones pertenecen al Ejército de Tierra o al GRS (Grupo de Reserva y Seguridad) de la Guardia Civil, por lo que se debe buscar una solución factible a esta cuestión. Un simulador de realidad inmersiva permitiría a cualquier oficial de Infantería de Marina adquirir los conocimientos y el adiestramiento necesario para en un futuro instruir a sus unidades como teniente de una Sección de fusiles, y poder aplicarlo en caso de llegar a conflicto armado en este tipo de entorno.

Un simulador de esta clase, encuadrado en un ambiente de combate urbano, presentaría al usuario distintas situaciones que este debiera ser capaz de resolver por medio de la toma de decisiones en situaciones de estrés y la aplicación de las TTPs (Técnicas Tácticas y Procedimientos), comunes a todas las unidades de IM. Es aquí, por tanto, donde radica la importancia de instaurar este medio en una academia de oficiales: el adiestramiento conjunto de los alumnos en estos entornos, la mejora de su capacidad de liderazgo en situaciones estresantes y la posterior aplicación de estos conocimientos en la instrucción del resto de la fuerza de Infantería de Marina como oficiales que son. Todo esto, junto con una infinidad más de competencias, se podrían obtener mediante prácticas inmersivas en un simulador de realidad virtual diseñado específicamente para esta clase de operaciones.

Debido a que el adiestramiento para MOUT está limitado por una serie de factores como el tiempo, la infraestructura y el coste material y logístico entre otros, este simulador tratará de servir como complemento o incluso alternativa para permitir que se alcancen las competencias anteriormente expuestas, necesarias para finalización de los diferentes cursos de formación de manera satisfactoria.

3.2.2 Selección del entorno

Con el objetivo de recrear un entorno lo más realista posible y el cual el usuario pueda reconocer, se seleccionará un emplazamiento real, del cual se hará un modelado 3D y servirá como base para la recreación de diferentes situaciones en el simulador de combate urbano, que se adapten lo máximo posible a las que se puedan presentar en la realidad.

De esta manera se representará de la manera más precisa posible el Polígono de Instrucción de Combate en Zona Urbana (PICOZU) de la base General Morillo de la BRILAT, ubicada en la provincia de Pontevedra, como podemos distinguir en la Figura 3-2. Esta surge de una remodelación llevada a cabo en 2017, que, además de una nueva galería de tiro, sustituyó la antigua “aldea afgana” utilizada para el adiestramiento en MOUT por una zona más grande y con mejores prestaciones, como por ejemplo edificaciones de más de una planta [50].



Figura 3-2 Ubicación PICOZU base General Morillo [51], [52], [53]

Este polígono de instrucción es el empleado por los alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar para realizar su adiestramiento semanal en las competencias de combate en zona urbana.

Es por ello por lo que haciendo una representación lo más fidedigna posible a la realidad, el alumno podrá compaginar su formación en el terreno con el resto de la CIA de alumnos, con prácticas individuales de los procedimientos en el simulador de realidad virtual. Se buscará una reproducción exacta del poblado, incluyendo elementos que le proporcionen un mayor realismo, permitiendo así una experiencia más inmersiva y hacerlo reconocible al usuario.

3.2.3 Obtención de planos y toma de distancias

Para la recreación del poblado, la BRILAT ha proporcionado los planos que se utilizaron para realizar remodelaciones recientemente en el Polígono de Instrucción, tanto de los edificios como de la distribución de estos. En estos planos, reflejados en el Anexo III: Planos PICOZU base General Morillo, aparecen por un lado los planos individuales de cada tipo de edificio presente en la zona, con vistas de alzado y de perfil, con sus dimensiones, sus puertas y ventanas, escaleras y balcones aquellos que los tienen. Por otro lado, todas estas edificaciones reciben una numeración, y en una imagen completa de la zona se muestra la distribución de cada edificio en su lugar correspondiente, con las calles y donde se coloca cada construcción con respecto a estas. La distribución general de la zona se puede comparar con *Google Earth Pro*, como se aprecia en la Figura 3-3.



Figura 3-3 Distribución general de PICOZU [51].

Posteriormente se necesitaban las distancias entre cada bloque, para poder representar en el simulador, no sólo los edificios fieles a la realidad, sino todo el poblado con su distribución, la separación entre cada construcción, los caminos y sus medidas exactas, la vegetación y el relieve, de la forma más rigurosa posible. La toma de estas distancias se ha realizado por dos métodos. Por un lado, con la herramienta de *Google Earth Pro*, que permite medir la longitud con una regla en una imagen aérea, como muestra la Figura 3-4, además de la altitud en cada punto y de una distribución aproximada de la vegetación de la zona. En segundo lugar, se ha contrastado con las medidas tomadas en el terreno, habiéndose accedido al Polígono de Instrucción para contrastar los planos proporcionados, hacerse una idea general de toda la zona, la vegetación, la distribución de bloques y el relieve, y medir todas aquellas distancias que sobre plano, imagen aérea u ortofoto resultase imposible o inexacto.



Figura 3-4 Medida de distancias en Google Earth Pro [51].

La suma de los dos métodos anteriores junto con los planos mencionados del Anexo III: Planos PICOZU base General Morillo, permitirán reproducir de forma precisa todo el poblado, dando la impresión al usuario de encontrarse realmente en este.

3.2.4 Consideraciones que influyen en las situaciones a recrear

Cuando uno se enfrenta a una amenaza en ambiente urbano, se deben tener en cuenta varias consideraciones a la hora de enfrentar la amenaza. Dejando de lado el terreno y las infraestructuras, que esto varía en función de la zona donde se esté operando, el elemento humano es un factor que va a estar presente en toda operación militar en terreno urbano, y todo combatiente debe saber enfrentarse con precisión a esta amenaza [12].

A la hora de reproducir un escenario realista no sólo ha de tenerse en cuenta a los enemigos, como ocurriría en combate convencional, ya que la población civil en este tipo de ambiente tiene un papel de gran importancia. En este simulador se ha de incluir todo tipo de población civil (hombres, mujeres, niños, anciano), y el usuario, sabiendo que se está enfrentando a una amenaza asimétrica, debe discernir a los enemigos entre toda la población.

Esto no es tarea sencilla, ya que operar en calles, edificios, pasillos y túneles genera gran cantidad de estrés de por sí, a eso hay que sumarle el ir pendiente de batir únicamente aquello que sea considerado amenaza. Además, el enemigo conoce la situación en la que el atacante se encuentra, y tratará de sacarle el máximo partido a la incertidumbre que se genera, buscando que la existencia de la población civil juegue constantemente a su favor.

La existencia de una serie de reglas de combate, ya explicadas con anterioridad, aplicadas siempre que se habla del campo bélico y, más concretamente, unas ROEs específicas para cada operación, limitan mucho las decisiones y acciones que se pueden ejecutar en un conflicto armado. Esto se traduce en que hay una serie de acciones que no se pueden tomar frente a una amenaza asimétrica debido a la existencia de civiles, y que las decisiones tomadas por un solo individuo afectarán de manera directa al cumplimiento de la misión de manera exitosa.

Por todas las consideraciones anteriores, el simulador a diseñar va a incluir los siguientes actores: hombres y mujeres tanto combatientes como no combatientes, niños, jóvenes portando armamento y ancianos. Mezclando todos estos actores y variando la existencia de unos y otros, se podrán generar numerosas situaciones que contribuirán a proporcionar realismo al escenario al que el usuario se confronte, favoreciendo su adiestramiento frente a amenaza asimétrica.



Figura 3-5 Diferentes actores en un ambiente asimétrico [54].

Algunos de los actores mencionados se presentan en la Figura 3-5: niños, mujeres, hombres y niños armados.

3.3 Diseño y modelado

Para diseñar el escenario inmersivo de combate se empleará el motor de juego ya mencionado, *Unreal Engine 5*. Para acceder a este es necesaria la aplicación de *Epic Games Launcher*, además de una cuenta personal creada. Una vez descargado este software de la red y creada la cuenta, se nos presentará la ventana de la Figura 3-6 al abrir la aplicación.

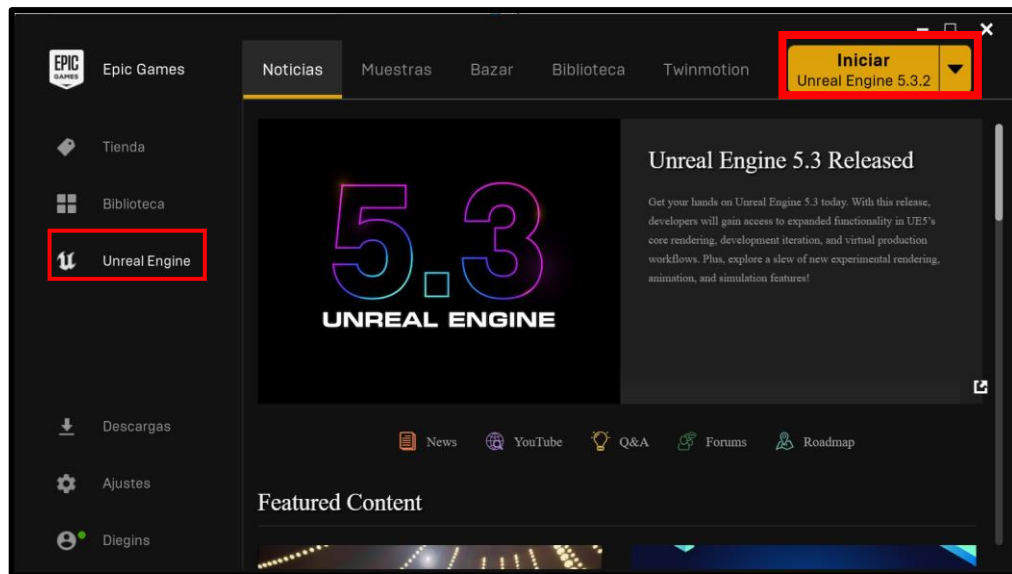


Figura 3-6 *Epic Games Launcher* [55].

El *Epic Games Launcher* se puede descargar tanto de la página de *Epic Games*, como de la *Unreal Engine* directamente [44]. Se abriría el ejecutable de la Figura 3-6, donde se accede a la ventana de *Unreal* en la barra lateral izquierda, apareciendo en la esquina superior derecha el botón de descarga de *Unreal Engine 5.3.2*. Una vez instalado en el lanzador de *Epic Games*, se podrá iniciar el software de *Unreal*, que se abriría con la pestaña de la Figura 3-7.

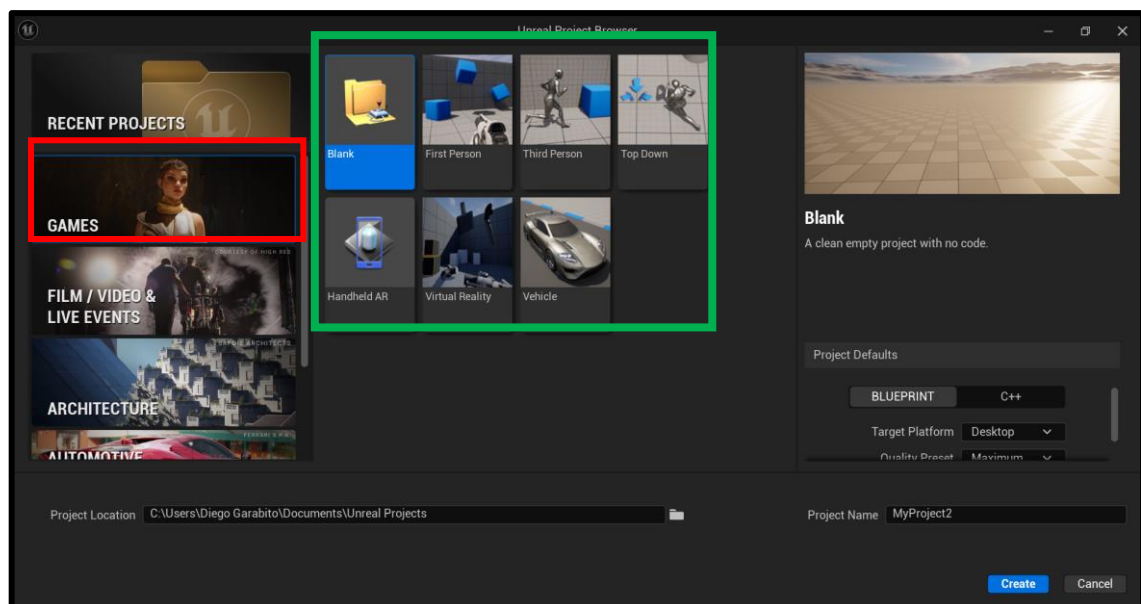


Figura 3-7 Motor *Unreal Engine 5*. (Autoría propia)

En la barra lateral izquierda aparecen las diversas opciones que *Unreal* nos ofrece, desde la creación de videojuegos hasta la elaboración de videos o películas de gran calidad o simuladores de automoción. Este proyecto se va a centrar en el apartado de *Games*, dentro del cual también existen diferentes tipos de videojuegos que se pueden diseñar, señalados en la Figura 3-8.

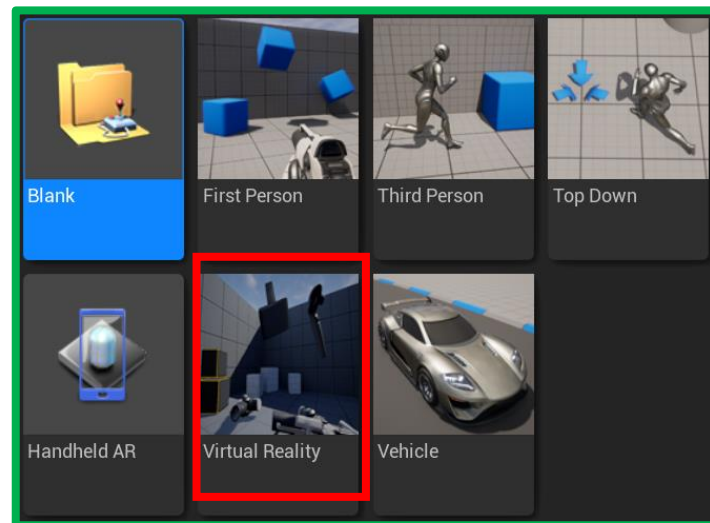


Figura 3-8 Tipos de videojuegos que ofrece *Unreal Engine 5*. (Autoría propia)

Entre todas las opciones, destacan *First Person*, *Third Person* y *Top Down*, base de videojuegos como *Fortnite* [56], *Call of Duty* [57] o *League of Legends* [58]. Por otro lado, nos ofrece la posibilidad de *Handheld AR*, de la que ya se ha hablado, y finalmente la que se ha empleado en el diseño del escenario de combate de este proyecto, *Virtual Reality*. Seleccionando esta última opción, dándole un nombre al proyecto y pulsando “*Create*”, se creará la plantilla sobre la que se va a trabajar a lo largo de todo el trabajo.

3.3.1 Interfaz *Unreal Engine 5*

Al abrirse el motor de juego para el desarrollo de *Virtual Reality*, *Unreal Engine 5* muestra una interfaz con una serie de herramientas, servicios y funcionalidades que permiten el diseño y modelado de los escenarios.

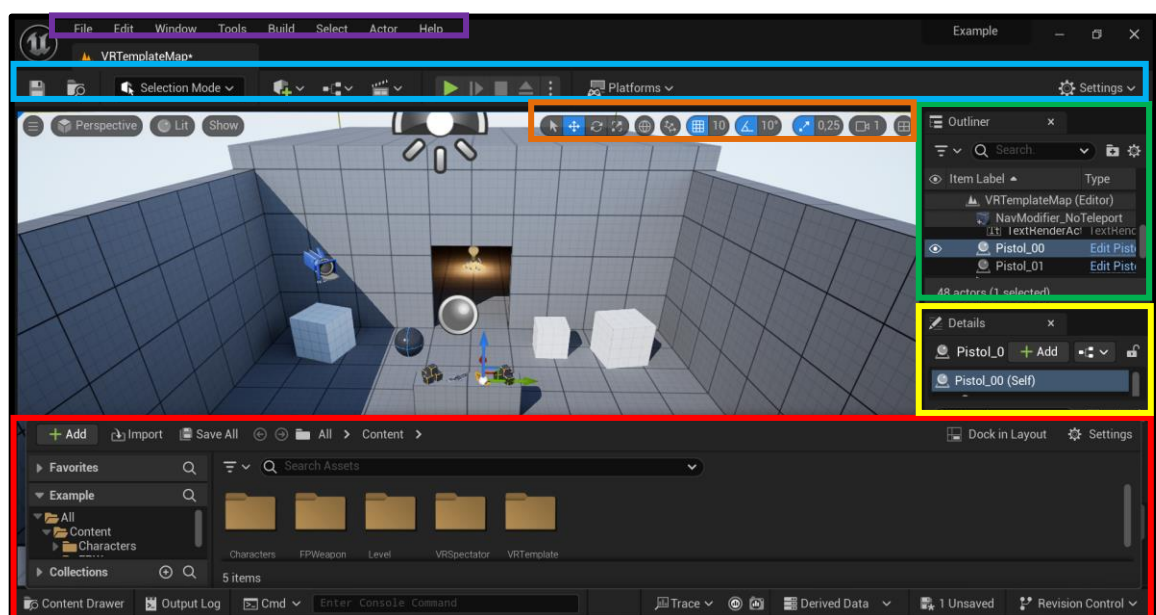


Figura 3-9 Plantilla por defecto de la opción *Virtual Reality*. (Autoría propia)

La Figura 3-9 muestra la interfaz del motor de juego en la que aparece en la ventana central el escenario en desarrollo. Alrededor de este se observan las distintas herramientas que ofrece el motor, disponibles para su uso e implementación directa sobre la propia escena de manera cómoda y sencilla. Además, la disposición de dichas herramientas puede ser modificada, pudiendo situarse en el lugar que al usuario le resulte más adecuado y cómodo. De esta manera, se puede decir que *Unreal Engine* es un motor de trabajo muy visual e intuitivo para el desarrollador. Se va a explicar las diferentes herramientas y funcionalidades señaladas en la Figura 3-9.

Empezando con las funcionalidades básicas, la Barra de Herramientas superior nos ofrece las opciones de la Figura 3-10, que son ajustes generales del motor de juego y no nuestro nivel específico. La más importante de estas, *File*, nos da la opción de crear o abrir un nuevo nivel, importar o exportar el nivel en su totalidad o elementos de este, guardar el nivel o proyecto y crear, abrir o comprimir un proyecto. En *Edit* cabe destacar que se pueden modificar los *Plugins* que el motor de juego tiene activos en ese momento, pudiendo activar, desactivar o modificar a gusto del usuario.

Por otro lado, la opción *Window* nos permite cambiar la vista del motor o la ventana actual, jugar entre las diferentes capas o niveles, variar los ajustes de luminosidad, añadir actores o acceder a los ajustes general de nuestro mundo (*World Settings*). Por último, hay que destacar la opción de *Build*, que nos distintas posibilidades de reconstrucción de nuestro mundo, niveles o elementos para solucionar los errores de construcción existentes, y la opción de *Help*, que ofrece ayuda desde la web, foros o directamente la guía de *Unreal Engine*.



Figura 3-10 Barra herramientas superior. (Autoría propia)

Siguiendo con las funcionalidades del nivel actual, en la Figura 3-11 se nos muestran las herramientas de acceso rápido que de izquierda a derecha serían las siguientes: guardado rápido; explorador de archivos de *Content Drawer* (más adelante se profundizará en este); el modo de edición, que puede variar entre *Selection Mode*, *Landscape*, *Foliage* o *Animation*, entre otros; la herramienta de *Quickly add to project*, que nos permite importar contenido en formato datasmith, acceder a *Quixel Bridge*, a la tienda de *Unreal*, así como añadir formas básicas, efectos visuales, actores, secuencias cinemáticas o personajes; a continuación encontramos la opción de programación, que nos permite acceder al código del nivel, cambiar el tipo de programación entre *Blueprints* y *C++* o incluso añadir, abrir y convertir actores del tipo *Blueprint*; finalmente destacar la barra de herramientas de juego, con la que se puede iniciar partida, detener la simulación o cambiar la vista de la cámara.



Figura 3-11 Opciones rápidas del nivel actual. (Autoría propia)

Previo a seguir con el resto de la interfaz, se explicará primero como funcionan los efectos visuales de *Unreal Engine 5*. Para acceder a esta opción, en la barra de herramientas de la Figura 3-11 se abre el desplegable de *Quickly add to Project*, dónde nos van a interesar dos opciones: *Lights* y *Visual Effects*. En cada una de esas opciones se desplegarán las ventanas que se muestran en la Figura 3-12, siendo de interés para el proyecto las recuadradas en rojo. Estos 5 elementos son los primeros que se deben añadir al crear un nivel vacío, de esta manera el mundo creado se llenará de luz que le proporcionará un mayor realismo.

- **Luz direccional:** Es una luz que proviene de un punto infinitamente lejano. Sombras paralelas entre sí serán creadas en los objetos haciendo de este efecto la perfecta simulación de la luz solar.

- **Niebla de altura exponencial:** Una niebla que se hace menos densa a medida que sube la altura. Es una buena transición entre el terreno y el cielo sin cambios bruscos ni cortes.
- **Atmósfera del cielo:** Crea el cielo y representa la propagación de la luz en él.
- **Luz del cielo:** Captura las largas distancias del mundo creado y refleja la luz en los distintos puntos.
- **Nubes volumétricas:** Genera nubes en el escenario de manera realista.

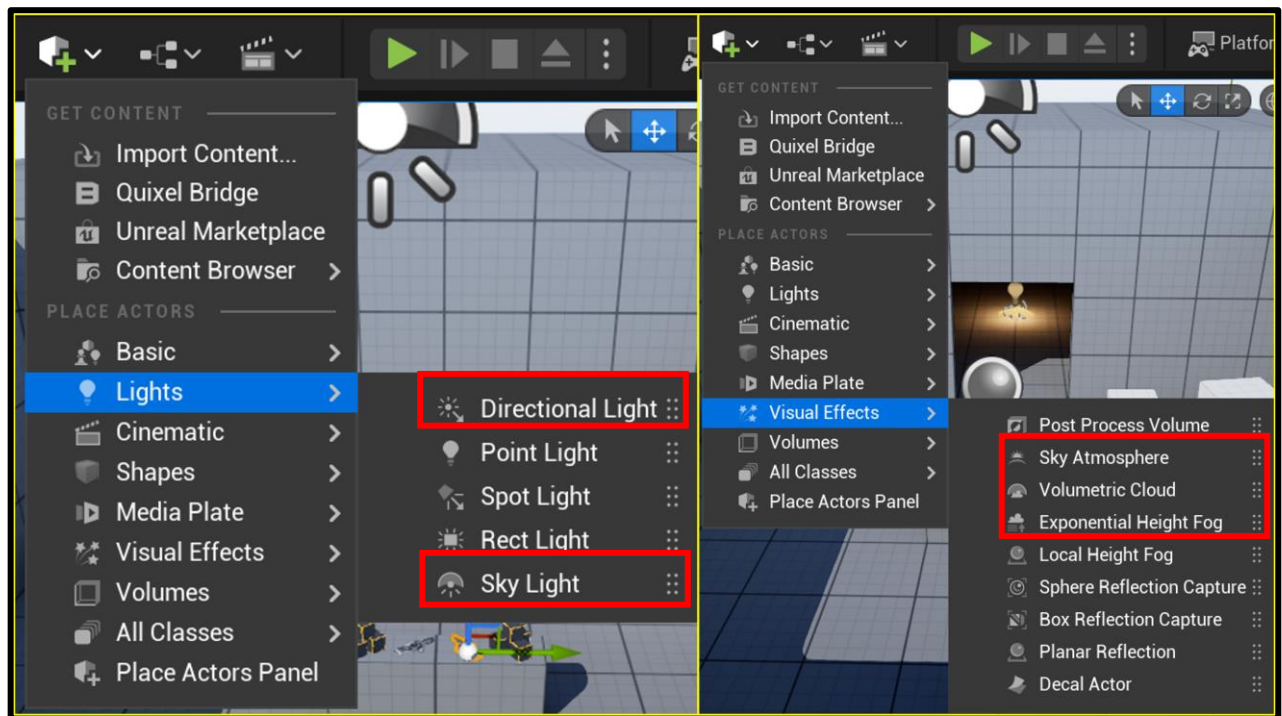


Figura 3-12 Efectos visuales *Unreal Engine 5*. (Autoría propia)

Dentro de la ventana central que muestra el escenario, aparecen en la parte superior una serie de *Widgets* que le dan al motor una serie de funcionalidades que permiten al usuario editar, mover, rotar o escalar los objetos de manera manual, rápida y sencilla, así como ajustar la velocidad de la cámara del editor en la escena. Todas estas funcionalidades se pueden ajustar en magnitud y se muestran en la Figura 3-13.



Figura 3-13 *Widgets de edición*. (Autoría propia)

El siguiente elemento de la interfaz que se va a explicar es el más importantes y de mayor utilidad. El *Content Drawer* o Buscador de Contenido mostrado en la Figura 3-14. Este permite al desarrollador crear, importar, organizar, visualizar y modificar todos los contenidos incluidos en el editor. Además, permite su distribución y organización en carpetas, incluso modificar los activos cambiando su nombre y ubicación, copiarlos o duplicarlos y visualizar sus referencias. Sumado a esto, cuenta en su parte superior con un buscador que permite localizar de manera rápida y sencilla cualquier archivo o elemento dentro del contenido del editor. Este *Content Drawer* se puede abrir directamente desde la barra de funcionalidades inferior, desde el buscador que se encuentra la derecha de la opción *Save*, en la esquina superior izquierda, o mediante *CTRL+Space Bar*. En caso de tener seleccionado un elemento del escenario, mediante *CTRL+B* se abrirá automáticamente la ubicación de este dentro del Buscador de Contenido, o mediante la primera opción de la herramienta *Actor* de la Barra de Herramientas superior.

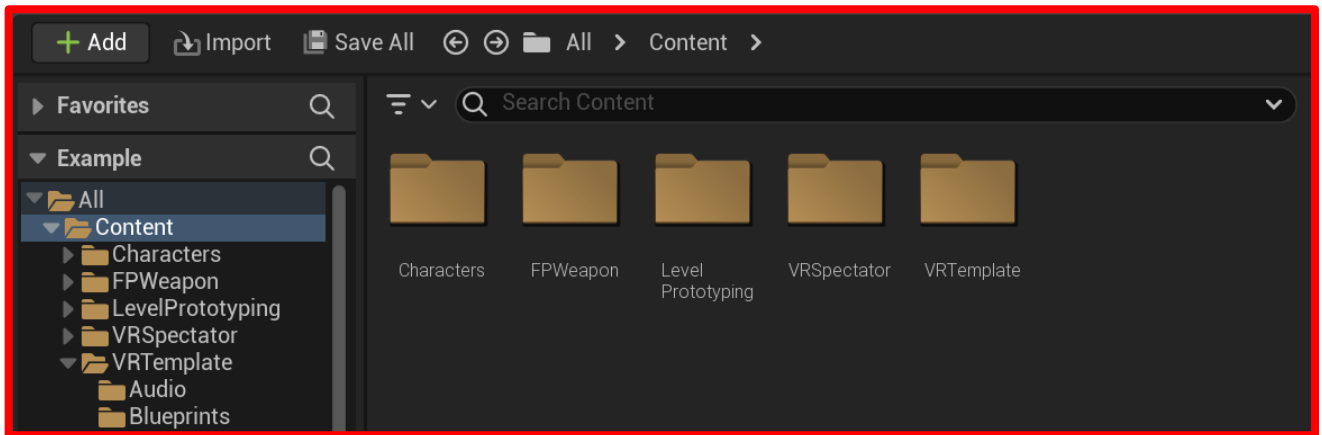


Figura 3-14 Content Drawer. (Autoría propia)

El segundo panel principal de la interfaz podría considerarse el *Outliner*. En la Figura 3-15 se muestra dicho panel, que presenta una visión rápida de todos los ítems del nivel activo (cada nivel es una escena independiente y juntos componen un proyecto) con una organización mediante carpetas jerarquizadas. Estos actores pueden ser seleccionados y modificados directamente desde este panel.

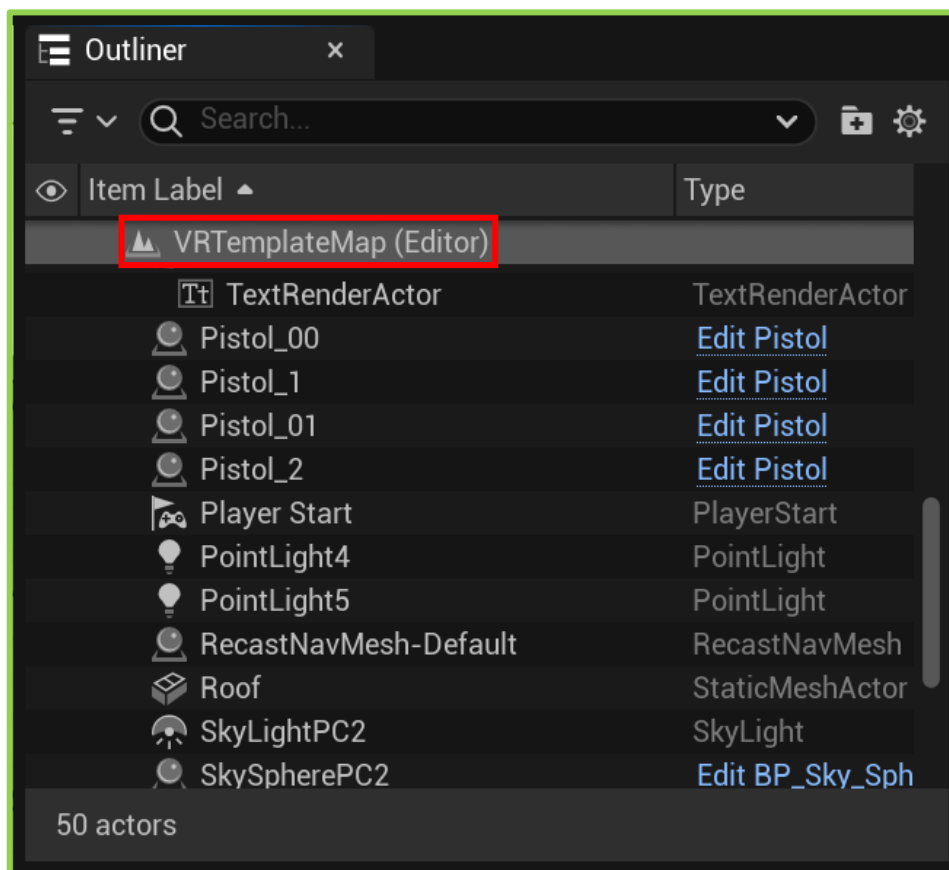


Figura 3-15 World Outliner. (Autoría propia)

El último panel que se puede observar es el Gestor de Detalles (*Details*), en la Figura 3-16. El panel permite modificar y editar las propiedades de los elementos seleccionados dentro del escenario, desde trasladarlos, rotarlos o escalarlos, hasta seleccionar los materiales que lo componen, así como cualquier otra funcionalidad que posea el tipo de activo seleccionado. Por otro lado, en la ventana de *World Settings* se podría hacer algo similar, pero con las propiedades generales del mundo creado, siendo esta una manera sencilla de acceder a las características comunes del proyecto.

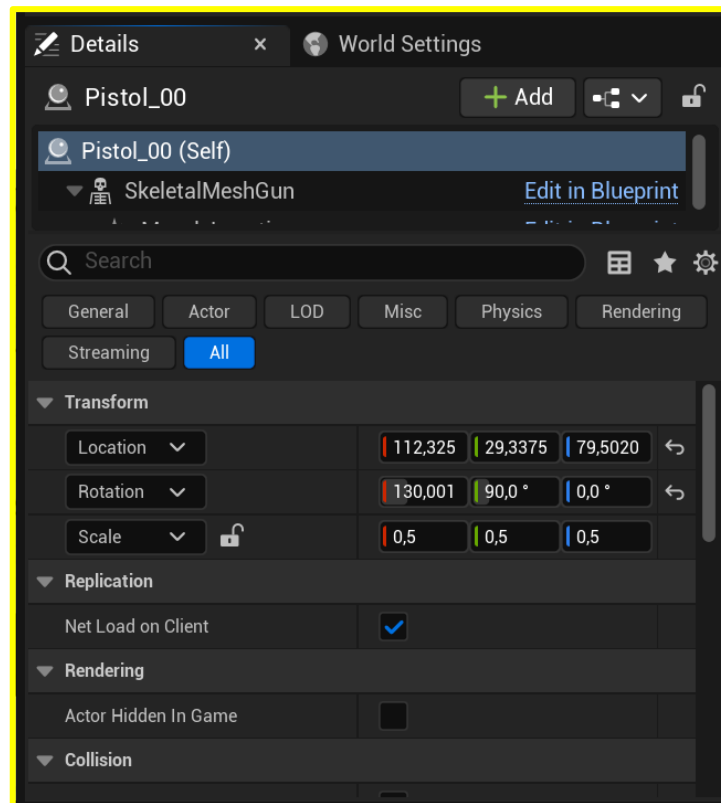


Figura 3-16 Details y World Settings. (Autoría propia)

Mediante la función *File*, de la Barra de Herramientas superior, se selecciona la opción *New Level*, abriéndose la ventana mostrada en la Figura 3-17. En esta se seleccionará *Open World* para crear el mundo sobre el que se va a trabajar a lo largo de todo el proyecto.

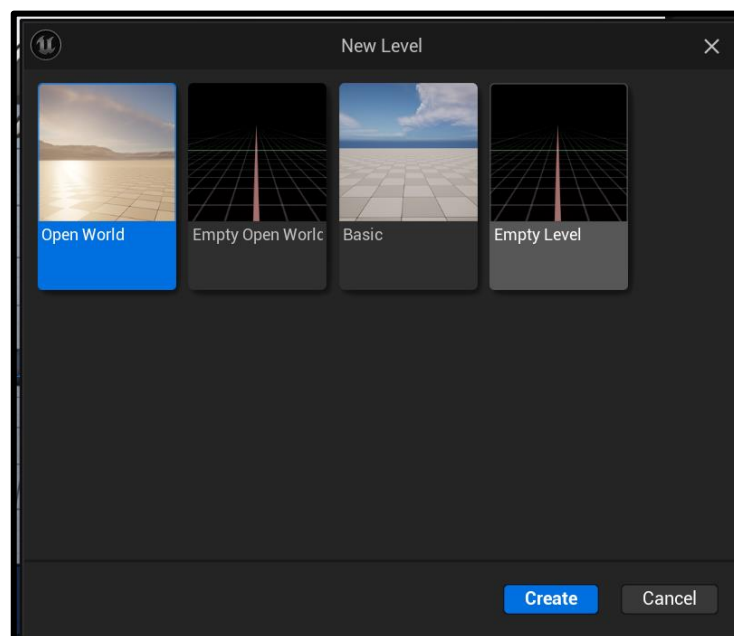


Figura 3-17 New Level. (Autoría propia)

Al crearse el nuevo nivel, se abrirá el escenario mostrado en la Figura 3-18, sobre el que se comenzará a diseñar el escenario de combate. Este nivel tiene las ventajas de que ya tiene efectos visuales incluidos, que podremos editar a nuestro antojo, además de un terreno sobre el que empezar a esculpir el diseño propio de PICOZU.

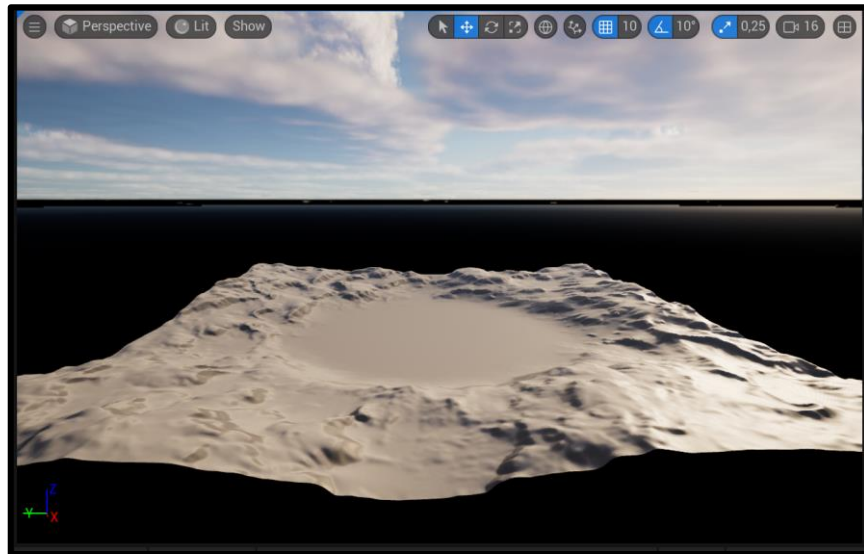


Figura 3-18 Open World. (Autoría propia)

3.3.2 Diseño básico del terreno

3.3.2.1 Landscape Material

Previo al diseño y modelado del poblado, con edificios, calles, vegetación y objetos de ambiente, es importante definir el material que tendrá el terreno de todo el escenario (punto muy determinante a la hora de conseguir el realismo buscado) y su estructura básica. Se puede buscar este material en diversas bibliotecas. En primer lugar, y como muestra la Figura 3-19, al abrir un nuevo proyecto se puede seleccionar que incluya una biblioteca con una serie de elementos básicos que podremos añadir a nuestro proyecto. Esta se denomina *Starter Content*, y es aconsejable contar con ella en todos los proyectos de *Unreal* ya que ofrece, entre otros, elementos básicos de arquitectura, *blueprints* sencillos y tres mapas iniciales con los que se podría empezar a trabajar. La carpeta buscada en este caso es la de *Materials*, que incluye un total de 43 materiales como los que aparecen en la Figura 3-19: materiales de construcción como guijarro o cemento; materiales de terreno como tierra, musgo o arena; e incluso materiales metálicos como bronce u oro.

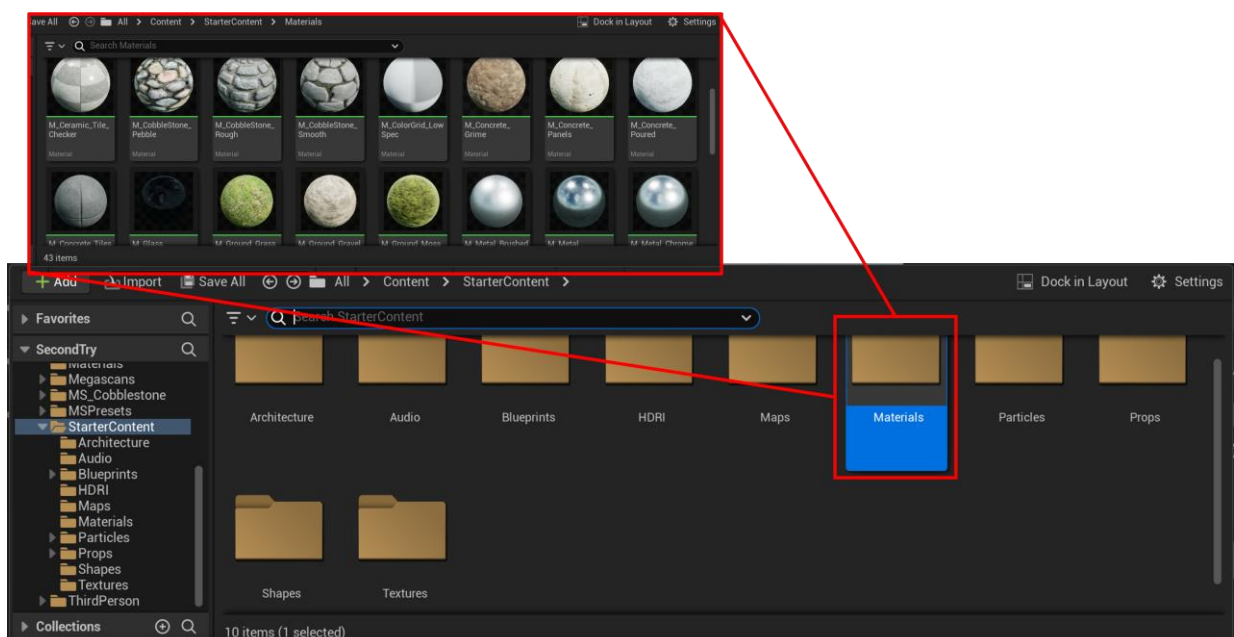


Figura 3-19 Carpeta Starter Content. (Autoría propia)

A pesar de ser materiales bastante básicos, poseen una programación en *blueprints* compleja y, en caso de necesidad, nunca será una mala opción emplear materiales del *Starter Content*. Al abrir uno de ellos a modo ejemplo, en este caso el musgo, se nos presenta la pestaña de la Figura 3-20, con los detalles y parámetros del material, el gráfico de *blueprints* y una vista previa del mismo (en este caso en una esfera, pero pudiendo variar la forma básica entre cilindro, cubo y plano).

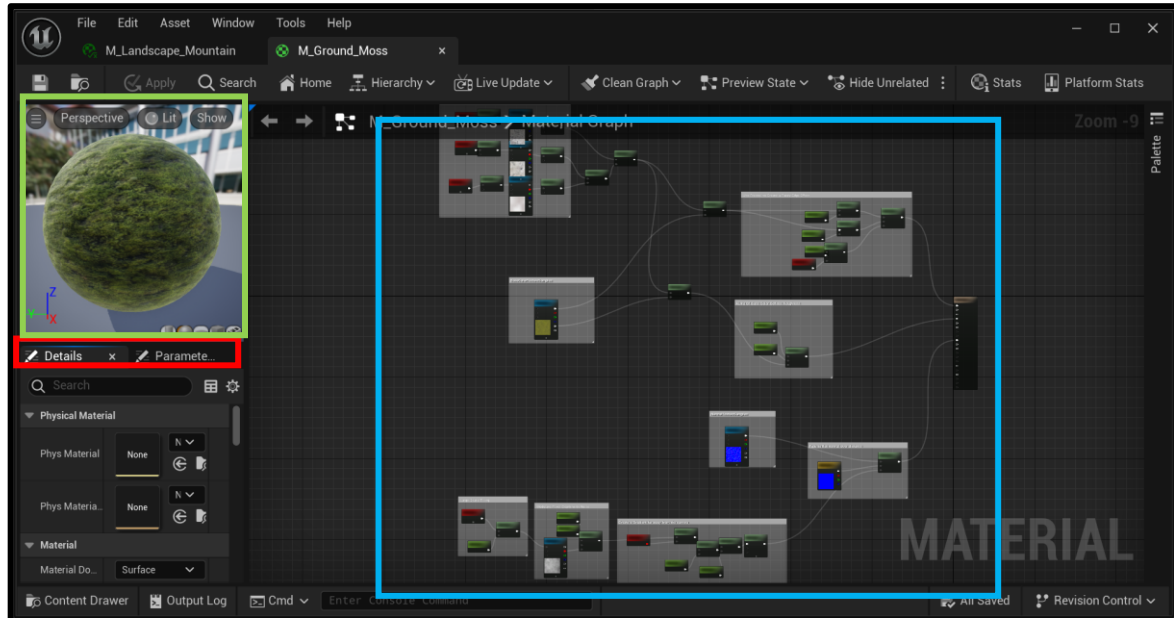


Figura 3-20 *Ground Moss Material*. (Autoría propia)

La segunda opción para encontrar nuestro material ideal sería la biblioteca online propia de *Unreal Engine 5*, *Quixel Bridge*. *Quixel Bridge* es una biblioteca gratuita que nos ofrece *Unreal*, de la que se pueden descargar más de 10000 tipos de materiales, objetos 3D, superficies o calcomanías. Gracias a esta biblioteca, el desarrollador podrá crear una gran variedad de niveles con fluidez y detalle. Por otro lado, también ofrece herramientas para la edición y personalización de los *assets*, lo que permite a los usuarios personalizar y adaptar los recursos a sus necesidades específicas. En la Figura 3-21 se muestra la ventana que se abriría al seleccionar la biblioteca de *Quixel* en la barra de herramientas superior de acceso rápido.

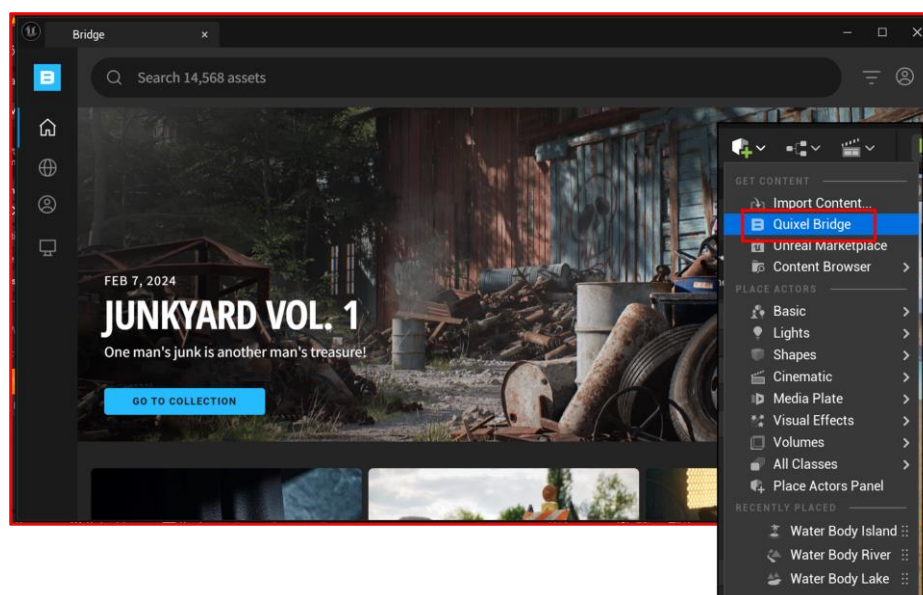


Figura 3-21 Ventana *Quixel Bridge*. (Autoría propia)

Dentro de la biblioteca, en la barra del lateral izquierdo se ofrecen varias opciones para acceder a los elementos de *Quixel*. La primera de todas, la pestaña *Home*, permite acceder a la librería de objetos 3D, de vegetación y de superficies, organizados en asfalto, barro, cemento, tierra, etc. La Figura 3-22 nos muestra la variedad de materiales que se pueden descargar para aplicar a nuestro terreno, edificios, calles, carreteras, etc.

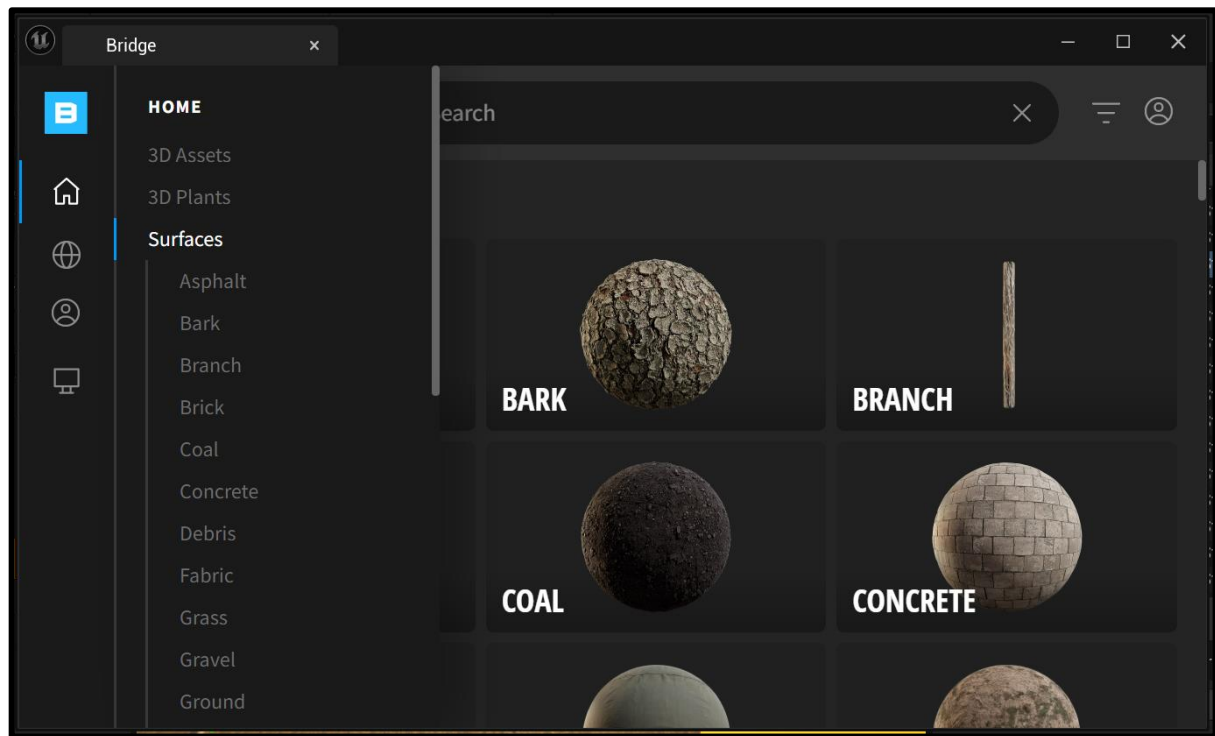


Figura 3-22 Surfaces de Bridge. (Autoría propia)

La siguiente opción sería la pestaña *Collections*, que daría acceso a todos los *assets* de *Bridge* organizados por temáticas: banquete medieval, entorno ciberpunk, elementos de construcción, jungla tropical japonesa, antiguo taller de trabajo o castillos en ruinas, entre otros ejemplos de las decenas de colecciones que nos ofrece esta amplia biblioteca. La tercera opción se corresponde con una librería de metahumanos que permite descargar para incluirlos en nuestro escenario. Ofrece una gran variedad de humanos de distintos rasgos, edades y género que permite elegir entre estos o personalizar nuestros propios actores que formarán parte de nuestro mundo. Por último, la opción *Local* actúa como una librería de todos los *assets* descargados de *Quixel Bridge* en la cuenta de *Epic Games* en la que se está trabajando. Esto permite acceder a estos elementos con facilidad para añadir de manera más rápida a un proyecto.

Ninguna de los métodos anteriores se ha empleado para definir el material del terreno, sino que se ha realizado de la siguiente manera. En internet existen miles de páginas y bibliotecas online de *Unreal Engine* que ofrecen tutoriales de empleo del software, blogs y foros de ayuda, así como librerías que permiten descargar objetos 3D, materiales, *assets* específicos e incluso niveles completos desarrollados por un profesional. Uno de los desarrolladores más conocidos con su propio canal de *youtube* con tutoriales gratis, cursos de nivel avanzado por módicos precios y una biblioteca de descarga gratuita sería *Unreal Sensei* [59].

Entre sus diversas librerías, ofrece un nivel de descarga gratuita denominado “Mountain”, mostrado en la Figura 3-23, del que se puede aprovechar el material empleado en el terreno para nuestro propio proyecto. Será tan sencillo como acceder a la carpeta del *Content Drawer* donde se encuentran los materiales del terreno, click derecho en la carpeta y se selecciona la opción *Migrate*. Se abrirá una

pestaña donde habrá que buscar la carpeta *Content* del proyecto donde se quieran migrar los materiales. Una vez incluida la carpeta de materiales en nuestro proyecto, se procederá a aplicar en el terreno del escenario.

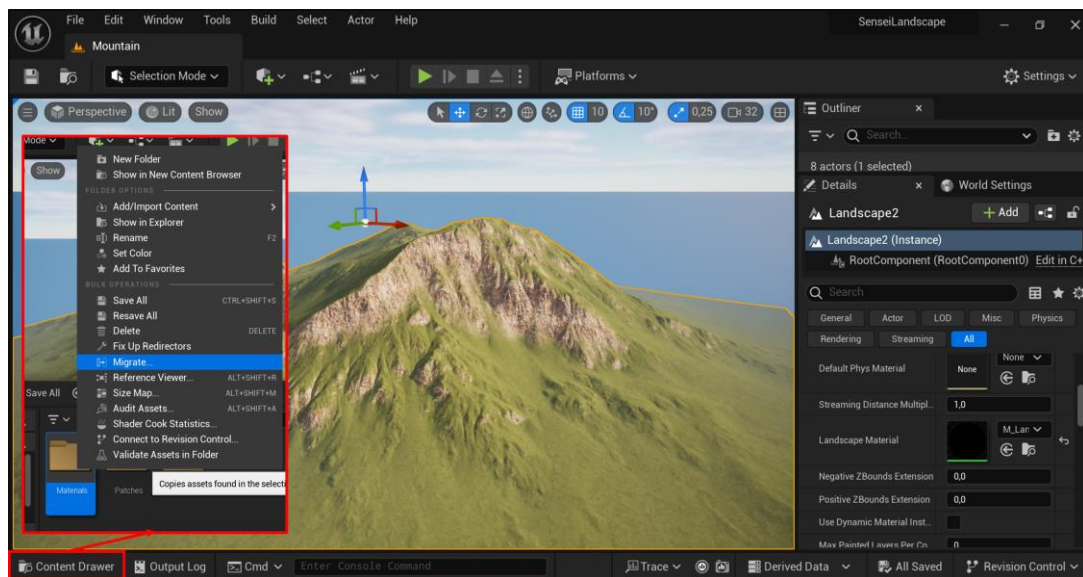


Figura 3-23 Nivel "Mountain" Unreal Sensei.

Se ha escogido este material en concreto ya que ha sido diseñado específicamente como material de paisaje. Dentro del mismo *Landscape Material* se incluyen un total de 5 materiales distintos, además del *AutoMaterial* de base, que tiene la propiedad de cambiar el material del terreno en función de la pendiente. Esto implica que en las zonas más abruptas del escenario se aplicará el material *MossyCreekStones*, mientras que al del resto del mundo se aplicará *ForestGround*. Entrando en las propiedades del material, en la Figura 3-24, en detalles se nos muestran las características y parámetros propios de cada grupo, organizados en *A_Material*, *B_Material*, *C_Material*, etc, dependiendo si trata de musgo, roca, césped, nieve o arena respectivamente.

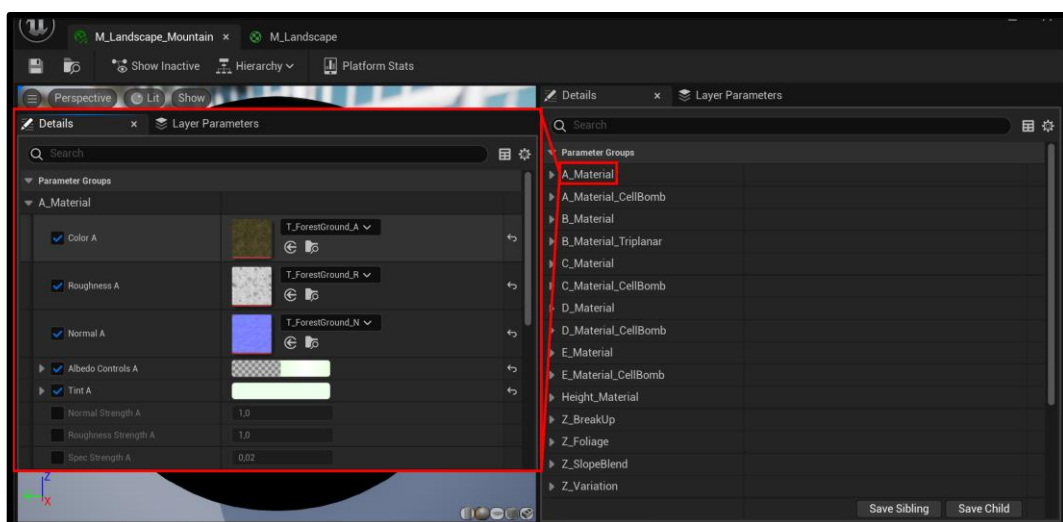


Figura 3-24 Landscape Material. (Autoría propia)

Una vez seleccionado este material como *Landscape Material* de nuestro escenario, este se verá completamente negro y opaco. Esto se debe a que, al ser un material con más de un grupo de materiales distintos, para aplicarlo se deben crear capas de paisaje que se almacenarán en nuestro *Content Drawer*. En la Figura 3-25 se muestra cómo, seleccionando en el modo paisaje la herramienta *Paint*, uno de los desplegables denominado *Layers* permitirá crear nuevas capas de los materiales deseados, y guardarlas

en una carpeta de nuestra elección. Primeramente, se crea la capa *AutoMaterial*, que se aplicará automáticamente al escenario, y será, por defecto, el material que tendrá todo el paisaje. Seguidamente se crearán las capas *A_Layer*, *B_Layer*, *C_Layer*, etc, seleccionando como materiales los grupos que poseía nuestro *Landscape Material* elegido. Esto se explicará más adelante, pero básicamente permitirá pintar el terreno del nivel empleando la herramienta *Paint* del *Landscape Mode*.

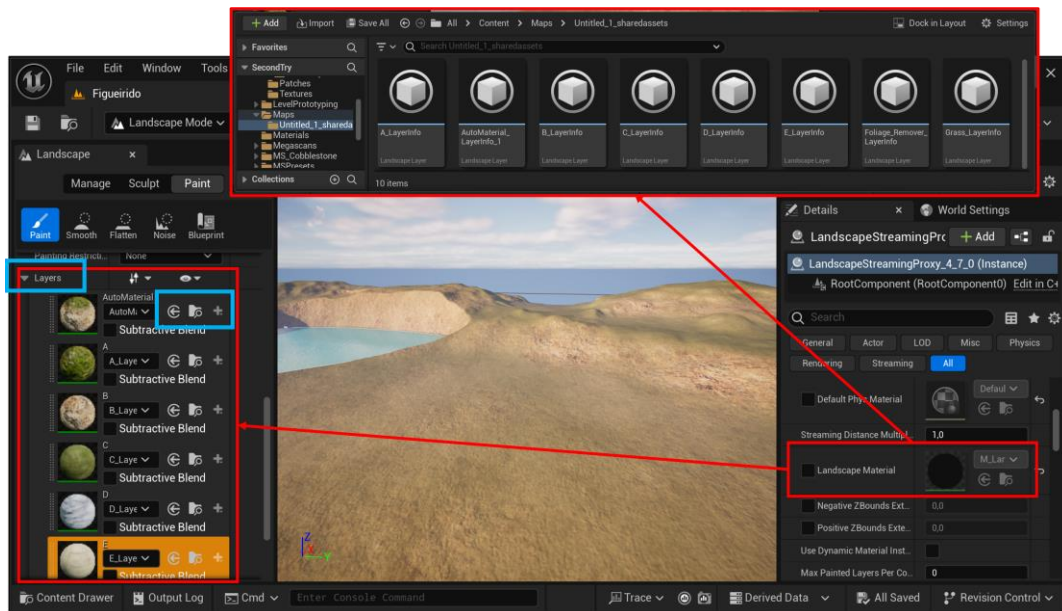


Figura 3-25 Creación de capas del *Landscape Material*. (Autoría propia)

3.3.2.2 Estructura inicial

Una vez creado el nivel *Open World*, aplicado el *Landscape Material* y añadidas las *Landscape Layers* de cada material al *Content Drawer*, el mundo sobre el que empezar a recrear el escenario estaría prácticamente terminado. Con respecto a la iluminación, se editan determinados parámetros de la *DirectionalLight*, como los mostrados en la Figura 3-26: el ángulo de incidencia, la intensidad y el color de la luz, y la temperatura. Por otro lado, también se ha editado el color de la luz de la *SkyLight*, y de la *ExponentialHeightFog* la densidad y caída en altura de la niebla, y la contribución al color de la atmósfera. Estos cambios de iluminación han permitido simular el atardecer en nuestro escenario.

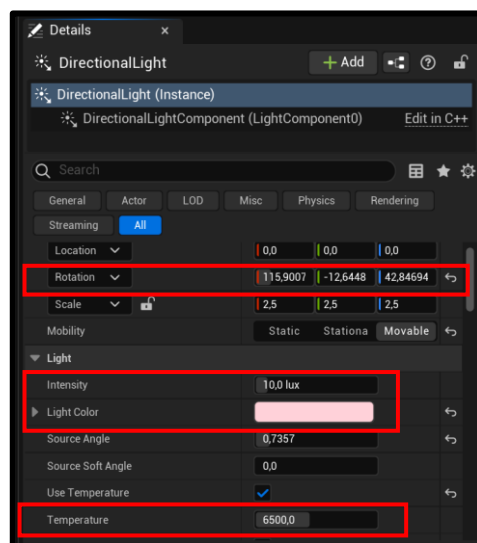


Figura 3-26 *Directional Light*. (Autoría propia)

Por otro lado, se ha decidido añadir una masa de agua como elemento decorativo del paisaje del nivel. Para añadir un lago en nuestro escenario basta con erosionar con la herramienta *Sculpt* del *Landscape Mode* la zona donde se va a situar, añadir una forma del *Starter Content* (plano o cubo) y aplicar a esta forma el material de agua que incluye asimismo el *Starter Content*. En el contenido inicial viene incluido tanto material para un lago como para un océano, en nuestro caso se selecciona el *M_Water_Lake* que se muestra en la Figura 3-27.

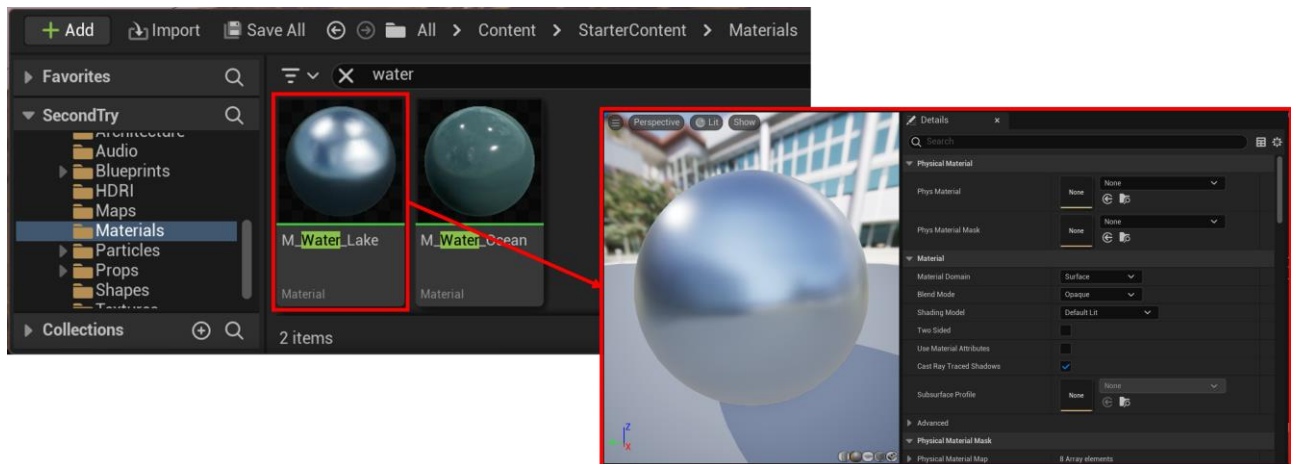


Figura 3-27 Water Lake Material. (Autoría propia)

Una vez realizados estos pequeños ajustes y cambios en el mundo creado, quedaría finalizada la base sobre la que se va a recrear el escenario de combate. Los detalles de iluminación, el material del terreno y el lago añadido se muestran en la Figura 3-28.

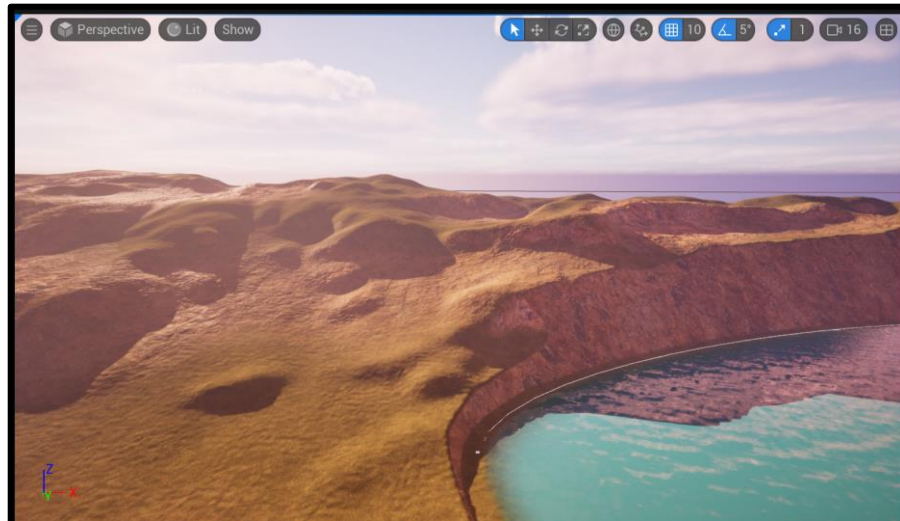


Figura 3-28 Base del escenario de combate. (Autoría propia)

3.3.3 Construcción e importación de edificios

Los edificios constituyen la parte más importante del escenario de combate. Son la esencia del simulador de adiestramiento en combate en población, por lo que se debe buscar que sean idénticos a los originales, tengan la misma distribución en el poblado simulado que en el real y posean características, detalles y materiales que les proporcionen el mayor realismo posible. El diseño de estos edificios en *Inventor* se ha realizado en base a los planos del Anexo III: Planos PICOZU base General Morillo ya mencionados, para posteriormente importarlos a *Unreal*, seleccionar los materiales adecuados y distribuirlos por el terreno también según el mismo anexo y referencias de *Google Earth*.

3.3.3.1 Diseño en Inventor

Autodesk Inventor, como se ha descrito con anterioridad, es un software de diseño asistido por ordenador (CAD) para el modelado mecánico en 3D, la simulación, la visualización y la documentación. Esta será herramienta empleada en el modelado de los edificios del escenario. Una vez creada una cuenta en Autodesk y descargado el software de *Inventor* [45], se abrirá la ventana mostrada en la Figura 3-29 con sus diversas opciones.

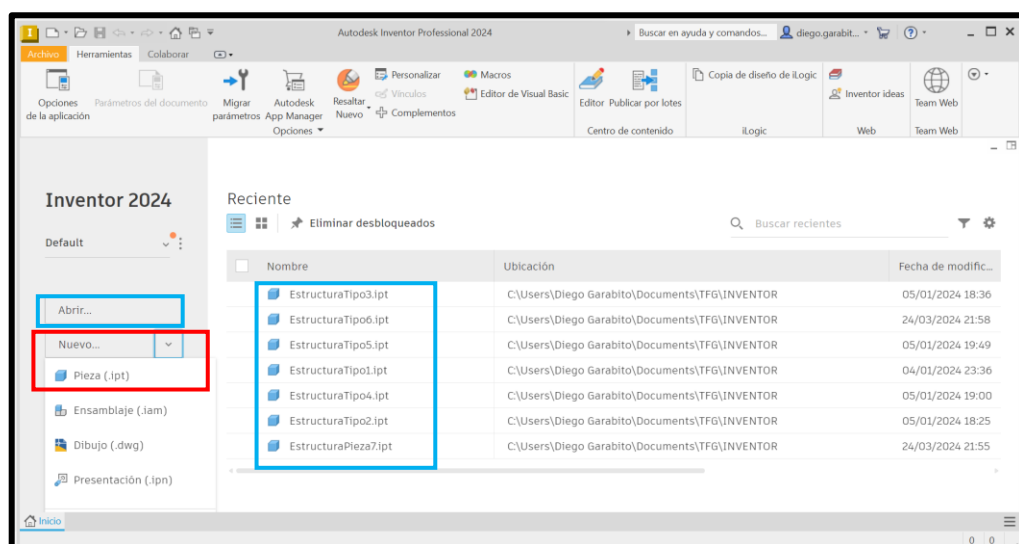


Figura 3-29 Nueva ventana *Inventor*. (Autoría propia)

En la opción recuadrada en azul se abrirá un archivo tipo (.ipt) u otro formato compatible con *Autodesk Inventor*, como las piezas que se muestran en reciente. En la opción recuadrada en rojo se presentan las formas de crear un nuevo archivo, ya sea una pieza individual, un ensamblaje de varias piezas o un plano en formato (.dwg). Seleccionaremos la opción “Pieza (.ipt)”, abriéndose una ventana en blanco con las diversas herramientas empleadas en el modelado.

A partir de las dimensiones de los planos de PICOZU se realiza el boceto de la planta en 2D mediante la herramienta recuadrada en rojo de la Figura 3-30. Al seleccionar “Iniciar boceto 2D” y determinar en qué plano se quiere realizar, se abrirá una nueva barra de herramientas con opciones de dibujar líneas, círculos, arcos o formas geométricas, así como aplicar patrones al dibujo y restricciones concéntricas, paralelas, perpendiculares, etc.

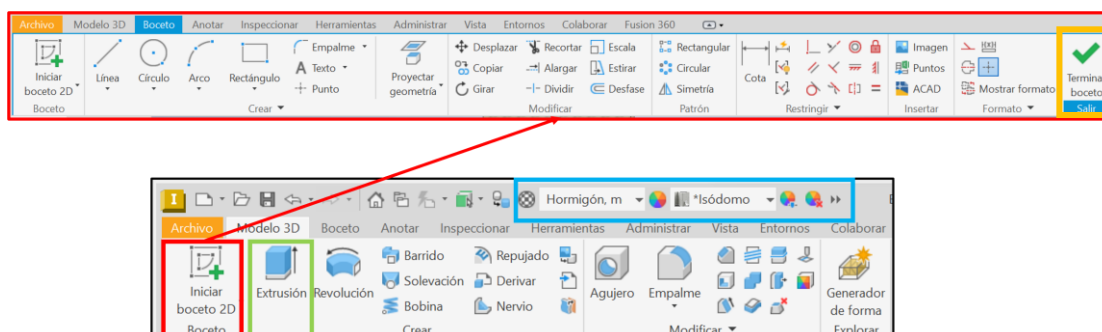


Figura 3-30 Herramientas empleadas en *Inventor*. (Autoría propia)

Conforme se van añadiendo líneas, arcos o formas geométricas a nuestro boceto, el software pide dimensiones, que por defecto vendrán dadas en milímetros. Cada vez que se haya finalizado un boceto 2D, se selecciona la opción “Terminar boceto” recuadrada en naranja, en la esquina superior derecha,

teniendo como resultado lo mostrado en la Figura 3-31. Una vez se sale del modo boceto 2D se volverá a mostrar la barra de herramientas inicial.

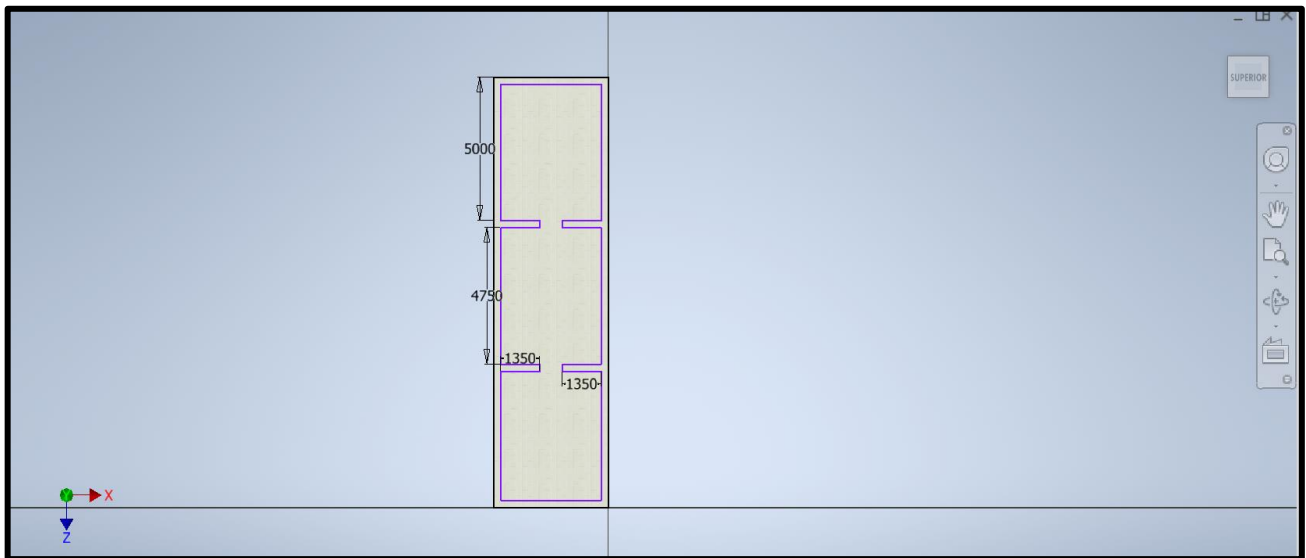


Figura 3-31 Boceto 2D planta edificio tipo 3. (Autoría propia)

En la barra de herramientas de la Figura 3-30 se elige la opción recuadrada en verde tras haber finalizado un boceto 2D. “Extrusión” es una herramienta que permite transformar dibujos 2D en figuras 3D, proporcionando, por ejemplo, volumen al boceto de la Figura 3-31 con la altura deseada para el edificio. Asimismo, admite eliminar material de una pieza 3D ya existente como es el caso de puertas y ventanas mostradas en la Figura 3-32. La única condición de esta herramienta ya sea para añadir o retirar volumen, es que debe actuar sobre un boceto en dos dimensiones para poder extruir.



Figura 3-32 Extrusión de puertas y ventanas. (Autoría propia)

Mediante las herramientas de “Iniciar boceto 2D” y “Extrusión” será posible modelar todos los edificios que se incluirán en el escenario. Finalmente existe una última herramienta de interés de la que se puede hacer uso en el diseño y modelado de las edificaciones, y es la recuadrada en azul en la Figura 3-30. Esta herramienta permite elegir el material de la pieza extruida, así como su aspecto. Abriendo el desplegable de esta herramienta se mostrarán las dos ventanas de la Figura 3-33.

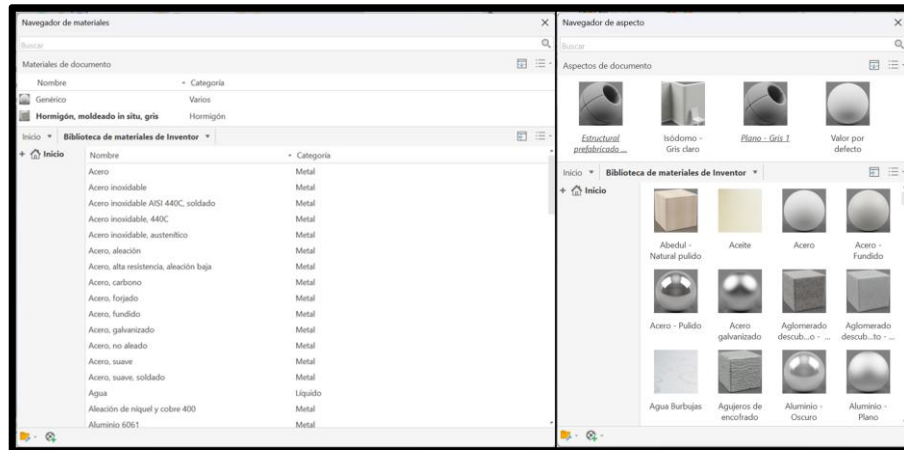


Figura 3-33 Navegador de materiales y de aspectos. (Autoría propia)

A la izquierda se encuentra el Navegador de materiales, que permite elegir el material de la pieza en su conjunto entre una gran variedad de opciones: aceros de todo tipo, cristal, hormigón, madera, plásticos, etc. El material elegido para estas construcciones ha sido “Hormigón, moldeado in situ, gris”. Por otro lado, a la derecha se encuentra el Navegador de aspecto, que permite variar el aspecto de los materiales seleccionados para las piezas. Para las paredes y el suelo se ha elegido “Isódomo-gris claro”, mientras que para el techo “Estructural prefabricado Liso”.

Una vez finalizado todo el diseño y modelado en *Autodesk Inventor* se guarda la pieza en dos formatos. Por un lado, en formato (.ipt) para poder seguir trabajando el archivo en el software en caso de ser necesario y, por otro lado, en formato (.glb) para poder importar las edificaciones en *Unreal Engine 5*. Hay un total de 7 tipos distintos de edificios en el poblado de PICOZU que se deben modelar en *Inventor* para posteriormente importar al proyecto de *Unreal*.

3.3.3.2 Importación en Unreal y elección de materiales

Los archivos de todos los edificios se importarán directamente al proyecto de *Unreal Engine 5* en formato (.glb). Dentro del proyecto se crea una carpeta que denominaremos “*My_Things*”, que servirá para almacenar todos los objetos, bibliotecas o packs que se añadan al proyecto desde una fuente externa al software de *Unreal*. En el caso de las 7 estructuras que compondrán el poblado se importarán a una carpeta denominada “*Buildings*”, mostrado en la Figura 3-34.

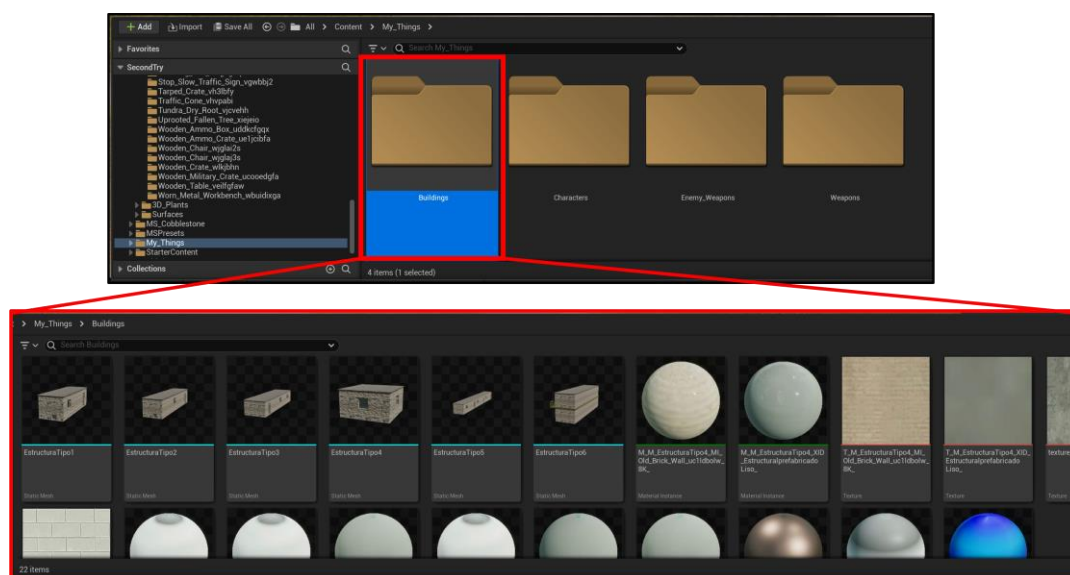


Figura 3-34 Carpeta "Buildings" dentro del proyecto. (Autoría propia)

Al importar cada pieza (.glb) en la carpeta designada “*Buildings*” se abrirá la ventana de la Figura 3-35, con una serie de opciones de importación de archivos. Por un lado, las recuadradas en azul permiten variar la localización de la pieza con respecto a los ejes XYZ, así como su rotación con respecto a estos ejes y variar la escala a la que se está importando, pudiendo disminuir o aumentar el tamaño de la pieza. También se debe elegir qué clase de objeto debe ser el archivo importado: *static mesh*, *blueprint*, *skeletal mesh*, etc; cada una de estas clases tiene unas propiedades únicas que determinarán su comportamiento en el escenario. Otra de las opciones permite elegir qué se desea importar: texturas, geometría, colisiones o todas las propiedades por defecto del archivo. En este caso se importará como *static mesh* y únicamente la geometría y la colisión, ya que los materiales y texturas se incluirán directamente en *Unreal*. Una vez decididas las opciones de importación, se elige la opción *Import* en la esquina inferior derecha y se añadirá a la carpeta “*Buildings*” del proyecto el archivo del edificio elegido.

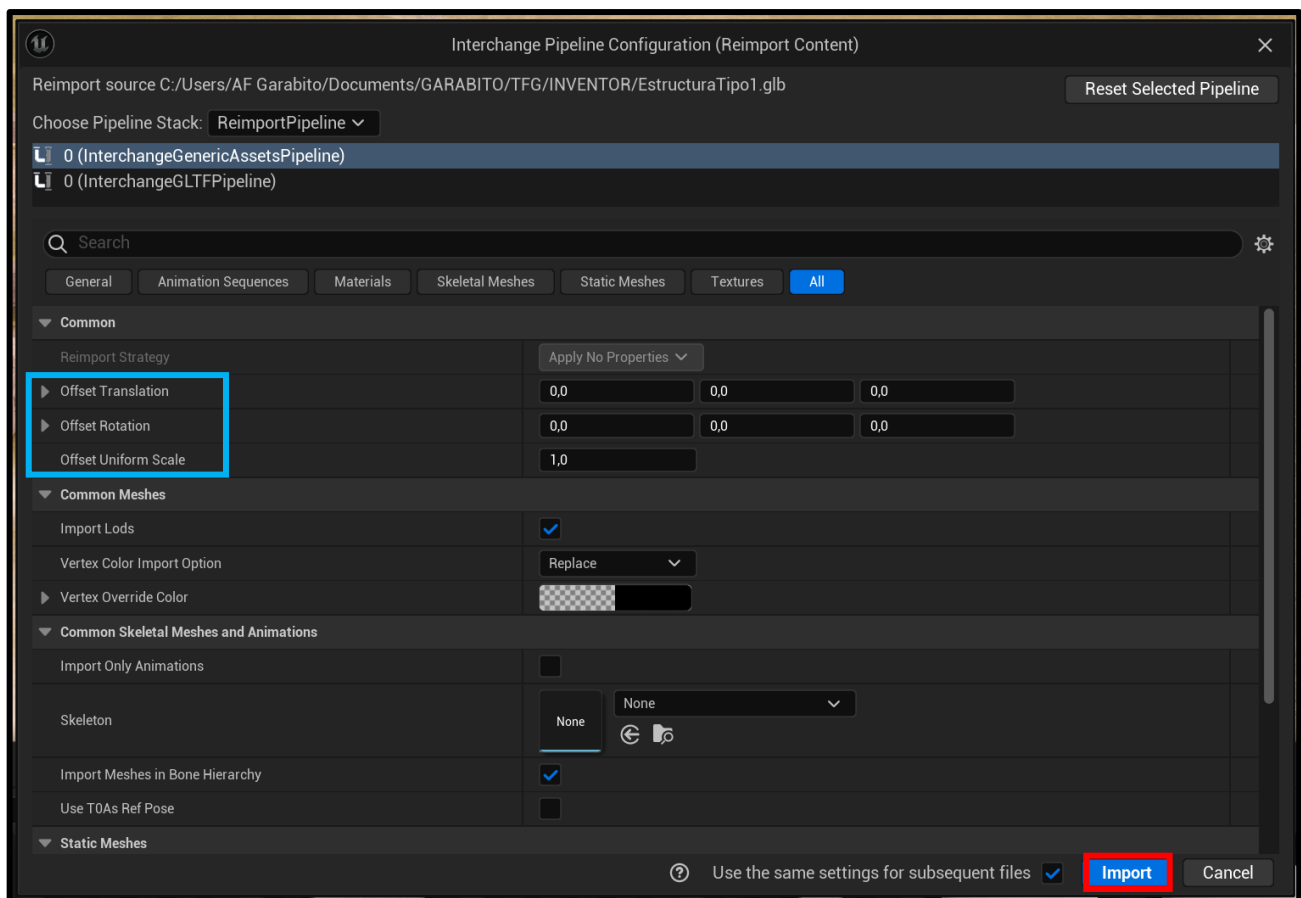


Figura 3-35 Importar piezas en *Unreal Engine 5*. (Autoría propia)

Al abrir las piezas importadas se mostrará en la pantalla la ventana de la Figura 3-36. La geometría del edificio con el material por defecto asignado por *Unreal*. En la barra de opciones del extremo derecho, en *Details*, desplegando la pestaña *Material Slots* se muestra el material asignado al elemento 0 y al elemento 1.

En la ranura del elemento 0 se debe seleccionar el material que se desea para el techo de los edificios. Por el contrario, en la ranura del elemento 1 se selecciona el material de las paredes y el suelo de los edificios.

Debajo de *Material Slots* se despliega la pestaña de *Nanite Settings*, donde da la opción de aplicar o no al *static mesh* la propiedad *Nanite*. *Nanite* es el sistema de geometría virtualizada que permite renderizar objetos complejos, mejorando su calidad y reduciendo la memoria gráfica consumida por este. Se aplicará a todos los objetos 3D que se añadan al proyecto.

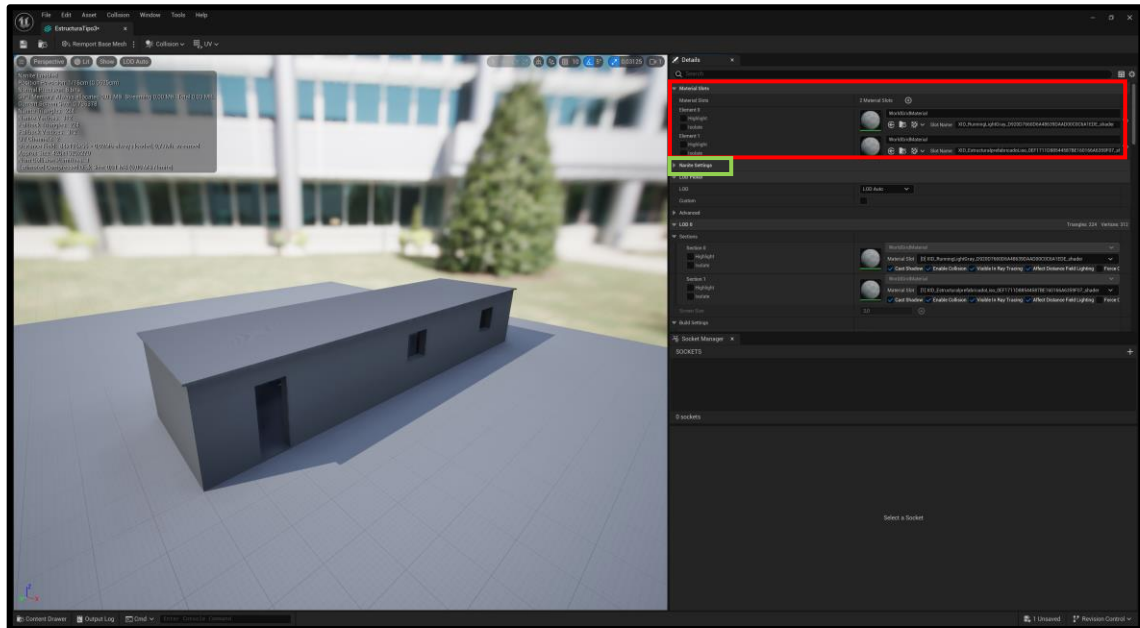


Figura 3-36 Edificio 3 importado en Unreal sin material. (Autoría propia)

Para la elección de los materiales de los edificios se ha hecho uso de *Quixel Bridge*. En la categoría *Surfaces*, concretamente en materiales de cemento, se han descargado y añadido al proyecto una serie de posibles opciones que aplicar a las edificaciones, mostradas en la Figura 3-37.

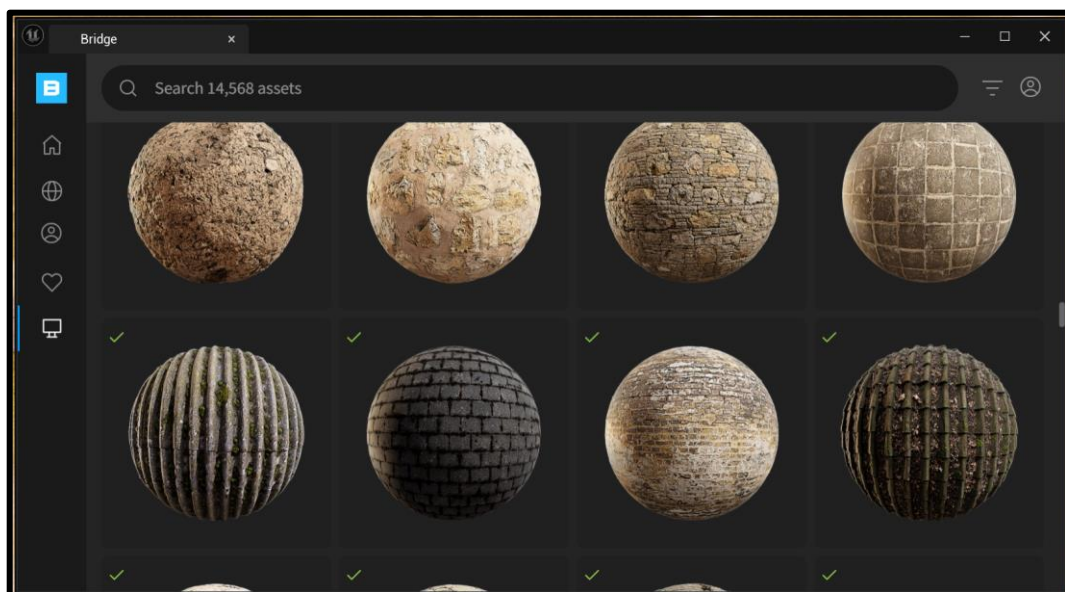


Figura 3-37 Materiales descargados de Quixel Bridge. (Autoría propia)

Finalmente, tras probar todos los materiales añadidos al proyecto, se han seleccionado aquellos que se asemejaban más al poblado real y les conferían mayor realismo a los edificios y, en general, al escenario. Se muestran en la Figura 3-38. El material recuadrado en rojo es el correspondiente con el techo de las edificaciones: “*Weathered roof insulation tiles*”.

El material recuadrado en azul se corresponde con paredes y suelo: “*Brick wall*”. Los materiales se deben añadir al proyecto eligiendo la opción *Add*, en la esquina inferior derecha, una vez determinada la calidad de descarga del mismo. Se guardarán en la carpeta creada automáticamente por *Bridge* para todos los elementos añadidos desde esta plataforma: “*Megascans*”.

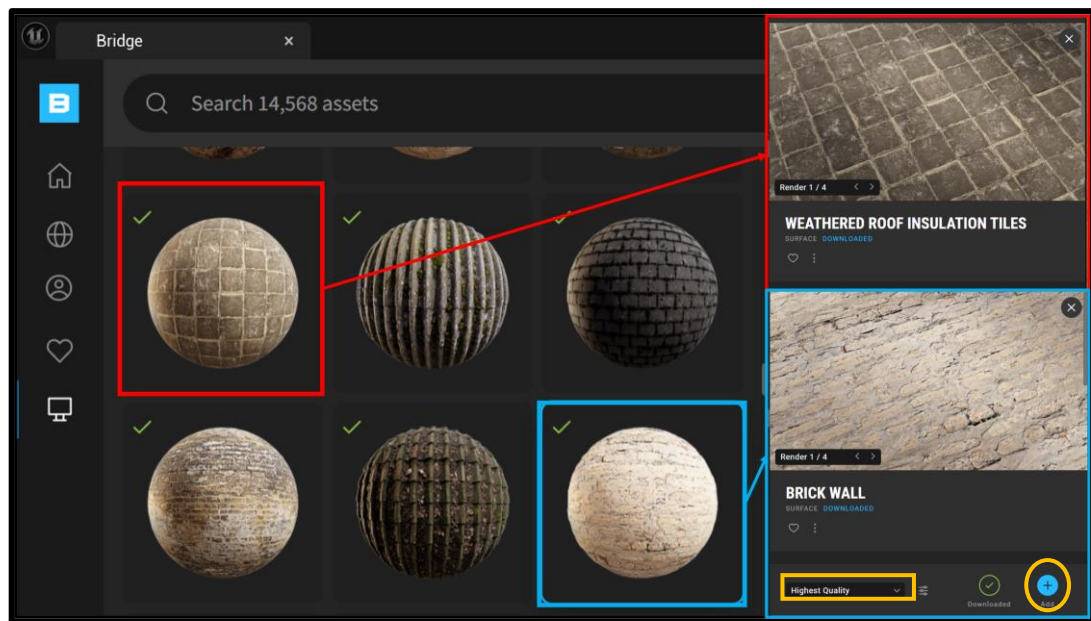


Figura 3-38 Materiales seleccionados de Quixel Bridge. (Autoría propia)

Una vez añadido y elegido el material del techo (elemento 0) en *Material Slots* del *static mesh* del edificio (“*Weathered roof insulation tiles*”), se debe abrir la ventana de detalles de dicho material. Se mostrará por pantalla la Figura 3-39, donde se deben modificar ciertos parámetros para mejorar la calidad y el realismo del edificio. Los parámetros del *Tiling offset*, recuadrados en rojo, determinan la escala de la textura, aumentando o disminuyendo en sus ejes dependiendo de los valores asignados. Para escalar correctamente el material se deben fijar los valores que muestra la imagen. Seguidamente, recuadrado en naranja está el carácter metálico del material. En este caso no se modifica nada de este parámetro, debido a que es cemento y no es un material metálico. Recuadrado en verde aparecen dos parámetros que se podrán modificar a nuestro antojo: la aspereza y la normal. Dotan al material de realismo y simulan relieve. Finalmente, recuadrado en azul, se encuentra los *Texture Maps*, que determinan, entre otras cosas, la textura del material.

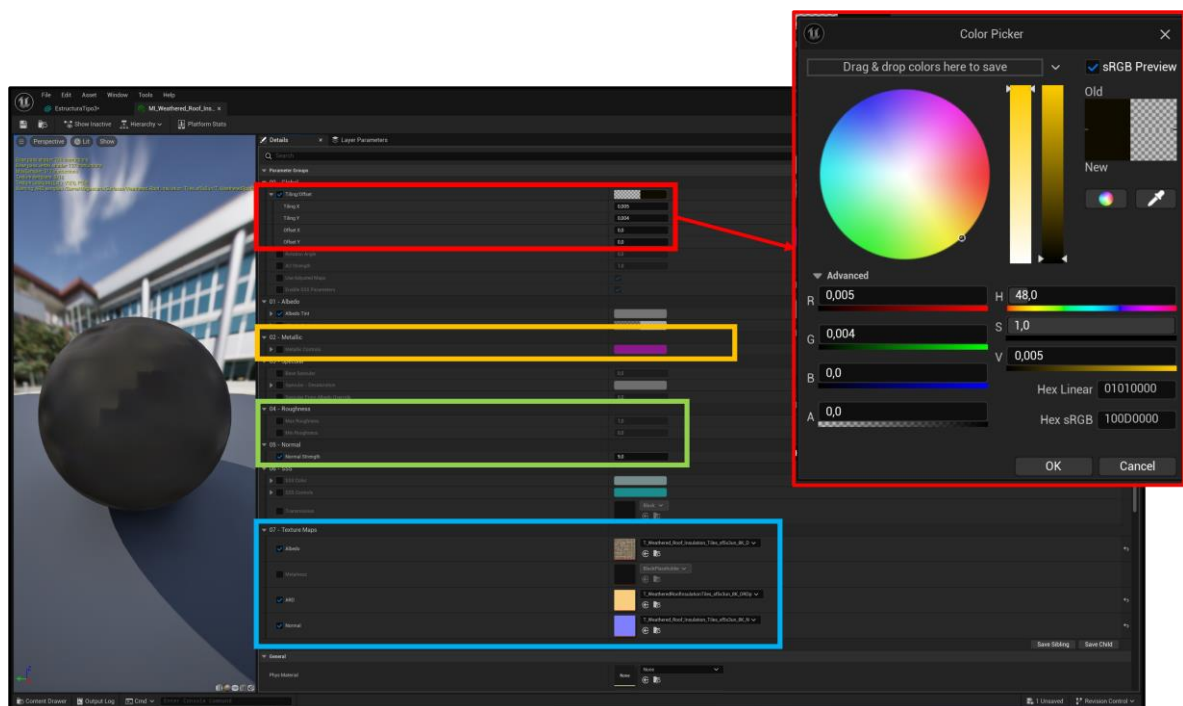


Figura 3-39 Detalles del material del techo. (Autoría propia)

Tras editar los parámetros mencionados, se procede a realizar el mismo proceso en el material empleado en las paredes y suelo del edificio (elemento 1 de *Material Slots*): “*Brick Wall*”. En la Figura 3-40 se muestran los valores que se deben fijar en los parámetros del *Tiling offset* en este caso para escalar correctamente el material aplicado. El resto de los parámetros funcionan de manera análoga al material empleado para el techo de los edificios.

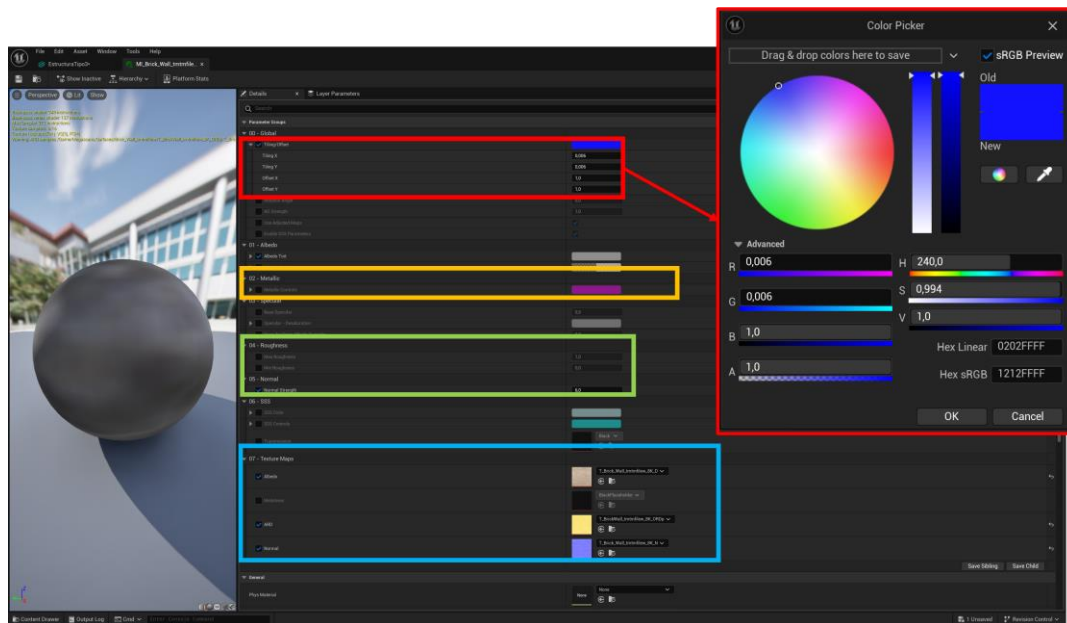


Figura 3-40 Detalles del material de las paredes. (Autoría propia)

3.3.3.3 Distribución en el escenario

Los edificios importados y su material seleccionado y aplicado, lo siguiente debe ser distribuirlos por el escenario. Los 7 tipos de edificios añadidos al proyecto se deben distribuir acorde a los planos del polígono de instrucción de combate en zona urbanizada, del Anexo III: Planos PICOZU base General Morillo. Las distancias exactas entre edificios y calles se han tomado, como se señaló al comienzo de este apartado, de *Google Earth* contrastadas con las medidas in situ de PICOZU.

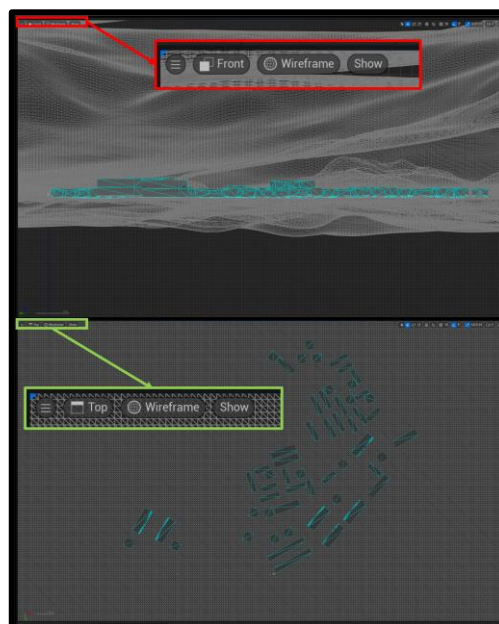


Figura 3-41 Alzado y planta del nivel "Figueirido". (Autoría propia)

El software *Unreal Engine 5* tiene la opción de mostrar otro tipo de vistas al desarrollador además de la perspectiva. Esto es que se puede ver el alzado, la planta y el perfil del nivel en el que se está trabajando.

En la Figura 3-41 concretamente se muestran el alzado y la planta del nivel en el que se está diseñando el escenario de combate, “Figueirido”. A esta opción se accede en la ventana central de la interfaz de *Unreal*, en la esquina superior izquierda donde permite variar entre *Perspective*, *Front* y *Top* entre otras. Esta herramienta permite al diseñador contemplar el nivel desde varios puntos de vista, facilitando el modelado y la corrección de errores.

Además, en todas estas vistas se puede hacer uso de una herramienta que permite medir distancias, por defecto en cm, haciendo click en la rueda del ratón y manteniendo pulsado. De esta manera, en la vista *Top* se han distribuido todas las edificaciones siguiendo el orden del anexo, tomando distancias como muestra la Figura 3-42 y aprovechando la triangulación de la imagen para orientar los bloques de manera correcta, teniendo en cuenta paralelismos entre ellos y perpendicularidades.

Posteriormente, en el alzado de la Figura 3-41 se han medido distancias para asegurarse de que todos los edificios estaban al nivel del suelo y evitar así errores en la colocación de estos con respecto al terreno.

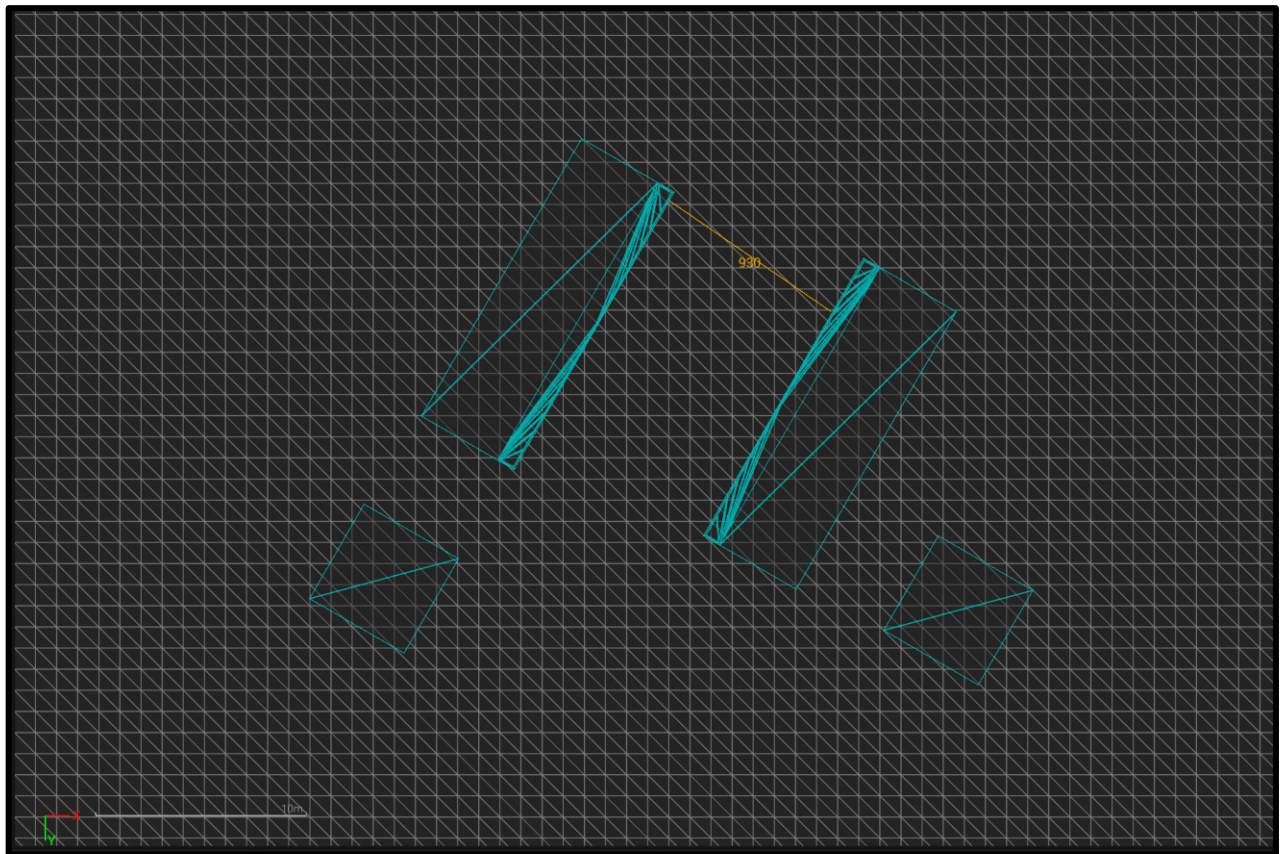


Figura 3-42 Toma de distancias en la vista *Top* de *Unreal*. (Autoría propia)

Sirviéndose de estas herramientas se han ido colocando los edificios uno a uno en el escenario, siguiendo siempre la distribución de los planos y comparándolo con *Google Earth Pro*, empleando otras herramientas como *CTRL+D* para duplicar bloques repetidos y alternando entre las vistas de alzado y planta.

A medida que se van colocando edificaciones se comprueba en la vista de perspectiva la corrección de posibles errores, como en la Figura 3-43.



Figura 3-43 Distribución de edificios en perspectiva. (Autoría propia)

3.3.4 Modelado del terreno y el poblado

Existen herramientas en *Unreal Engine* que permiten moldear y pintar el terreno a nuestro antojo, así como poblar el escenario de vegetación: matorros, plantas y árboles. Rocas, objetos cotidianos, enseres, material militar y de construcción son elementos 3D que debe contener el poblado para conferirle el mayor realismo posible. Una vez colocados todos los edificios en el escenario y distribuidos adecuadamente a nivel el suelo, se debe hacer uso de estas herramientas mencionadas para obtener irregularidades en el terreno y el realismo buscado.

3.3.4.1 Landscape Mode

El modo *Landscape* presenta tres herramientas de interés para la realización de este proyecto: *Manage*, *Sculpt* y *Paint*. Estas nos permitirán moldear y pintar el terreno a nuestro antojo, para asemejarlo lo máximo posible al terreno que se está recreando. Para entrar en este modo, en la barra de herramientas del nivel, en el *Selection Mode* se escoge *Landscape*, como aparece en la Figura 3-44, o pulsando *SHIFT+2* simultáneamente.

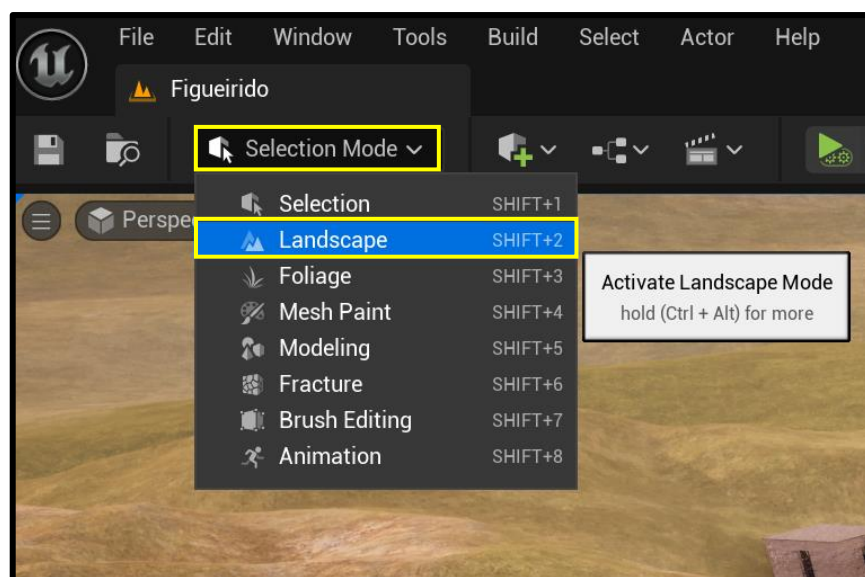


Figura 3-44 Landscape Mode. (Autoría Propia)

La primera vez que se abra la herramienta Paisaje, se accederá automáticamente a la pestaña *Manage Mode*. Esta nos permite gestionar las secciones de terreno a nuestro gusto. El paisaje de un nivel está dividido en porciones más pequeñas cuyo tamaño depende del elegido al crear el terreno, denominadas componentes. Esos componentes a su vez se dividen en secciones, y esas secciones en la unidad más pequeña de *Unreal*, *Quads*. Si no hay ningún actor de paisaje en el nivel, se pedirá crear uno. En el *Landscape Manage Mode* se pueden crear nuevos paisajes y modificar los existentes y sus componentes.

En la Figura 3-45 se presentan las opciones de la *New Landscape Tab*, que nos permiten importar el paisaje de un archivo externo, asignarle un material, determinar los parámetros geométricos, así como el tamaño total de este: *Quads* de una sección, sección por componente y número de componentes que contendrá el paisaje creado. Los valores por defecto aparecen en la imagen. Existe la posibilidad de tener más de un paisaje dentro de un mismo nivel, basta con alternar entre uno y otro en el *Landscape Select Mode* para decidir cual editar. Asimismo, la pestaña *Select* permite crear y alternar entre las capas existentes. Las distintas capas de un mismo paisaje permiten organizar el trabajo e independizar el moldeado del terreno entre capas. Esta herramienta ha permitido en el presente proyecto trabajar por un lado el relieve colindante al poblado, por otro el relieve en el interior de este y finalmente los caminos que atraviesan y rodean el poblado.

Existen otras pestañas del *Landscape Manage Mode* de menor importancia que permiten añadir o retirar componentes de paisaje, desplazarlos o copiarlos, e importar archivos de paisaje al proyecto.

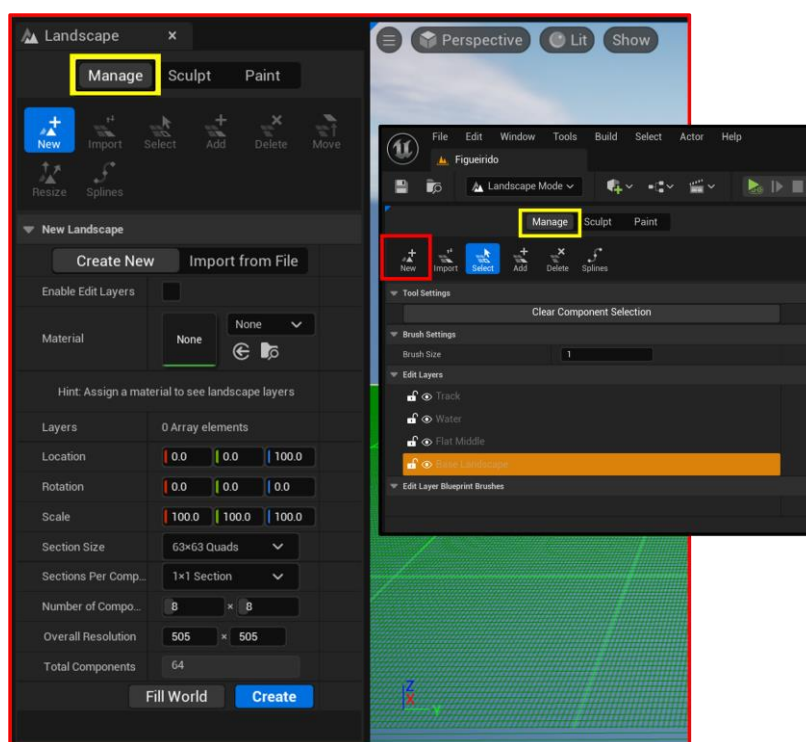


Figura 3-45 Landscape Manage Mode. (Autoría propia)

En el subapartado Landscape Material se describió cómo se aplicó el material de terreno al paisaje y cómo se crearon las diferentes *Landscape Layers* asignadas a cada grupo de material de nuestro *Landscape Material* elegido. Mediante el *Landscape Paint Mode* se va a pintar el terreno y los caminos haciendo uso de las capas de Paisaje creadas. Las diferentes opciones que ofrece la herramienta Pintar se presentan en la Figura 3-46, centrándonos únicamente en la pestaña *Paint*.

En primer lugar, en el desplegable *Edit Layers*, se decide sobre qué capa editar, en función de si se van a pintar los caminos, el terreno exterior al poblado o terreno dentro de este. En el desplegable *Layers* se presentan las capas de material creadas, cada una asignada a un grupo de nuestro *Landscape Material*. Dependiendo si se tiene seleccionada la capa A, B, C, D o E se pintará musgo, roca, césped, nieve o

arena respectivamente en el terreno. Recuadrado en rojo en la imagen se encuentra el tipo de brocha que se está empleando, en verde la fuerza con la que pinta la brocha (o la intensidad) y en azul el tamaño de esta.

En este caso se ha usado la brocha por defecto, y la intensidad y el tamaño de brocha se iban variando en función de la zona del terreno. Para los caminos se ha usado la capa E de arena o la capa B de roca para caminos más escarpados, todo ello en la capa de Paisaje *Track*.

Se han pintado tomando como referencia los de *Google Earth Pro* contrastados con los observados in situ en el poblado. En la capa de *Base Landscape*, las zonas de mayor pendiente, más montañosas y de mayor cota se han pintado con la capa B de roca, para darle un aspecto más escarpado, mientras que las zonas más bajas alejadas del poblado con la capa C de césped. Los alrededores del poblado y el interior de este se han pintado con una mezcla entre la capa C y E, variando la intensidad de la brocha, para proporcionar a la zona principal del escenario un aspecto más arenoso y gastado. La capa A de musgo se ha usado para zonas de mayor vegetación, próximas al lago o zonas elevadas. No se ha hecho uso de la capa D de nieve ya que es inexistente en toda la zona.

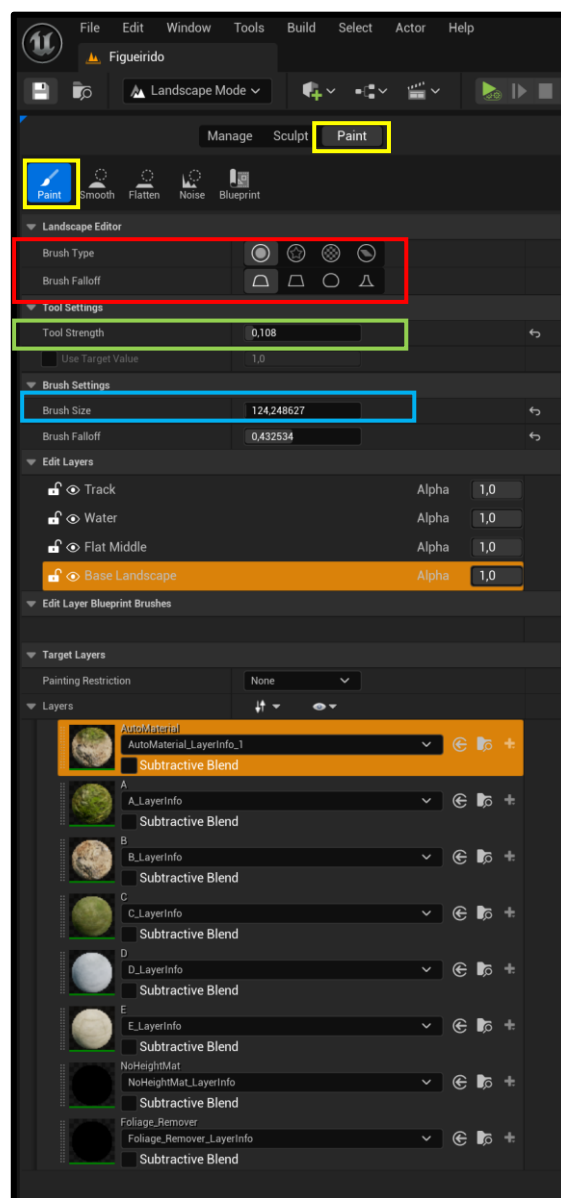


Figura 3-46 Landscape Paint Mode. (Autoría propia)

En la Figura 3-47 se puede observar el contraste creado tras aplicar musgo, césped y arena al terreno, creando de esta manera los distintos caminos que atraviesan el poblado y lo rodean, y favoreciendo así a irregularidades en el terreno que le brindan mayor realismo.

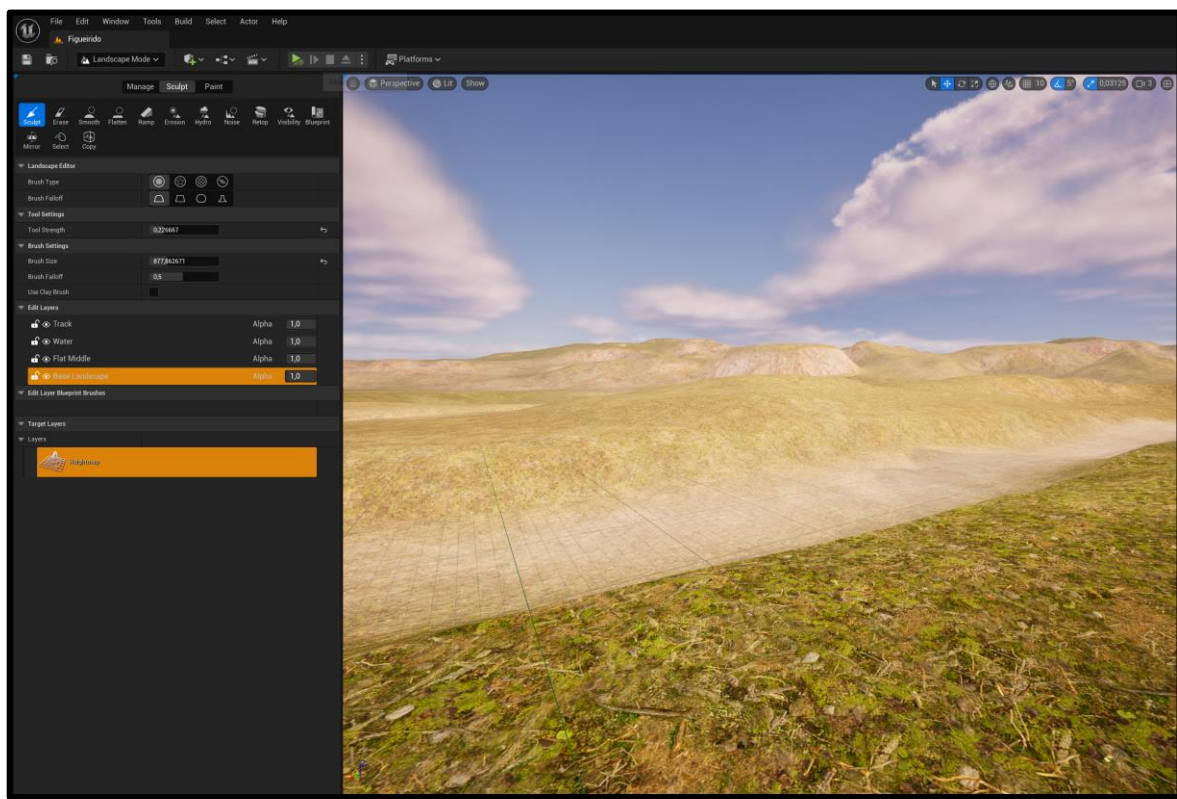


Figura 3-47 Caminos del escenario. (Autoría propia)

La última herramienta que ofrece el modo Paisaje sería el *Landscape Sculpt Mode*, mostrado en la Figura 3-48. Mediante esta función se hace posible esculpir y modelar el terreno con total libertad, creando montañas, ríos, plataformas y rampas, entre otras muchas opciones. De las opciones que esta herramienta ofrece, las empleadas para este proyecto han sido *Sculpt*, *Erase*, *Smooth* y *Flatten*. No obstante, existen muchas otras como *Erosión* y *Hydro*, que permiten generar erosión en el terreno ya sea causado por el sol o por la lluvia respectivamente; y *Ramp*, que es capaz de crear rampas en el terreno, una herramienta muy útil en el diseño de videojuegos.

Independientemente de la opción activa, todas ellas presentan los parámetros de la Figura 3-48. Los recuadrados en rojo permiten elegir el tipo de brocha que se está empleando. Esto determinará la forma del relieve que se está esculpiendo, así como su pendiente y lo escarpado que sea.

En verde se encuentra la intensidad de la brocha, que intensificará la herramienta que se esté empleando para modelar cotas más elevadas o zonas con mucho menos relieve. Finalmente, en azul el tamaño y la caída de la brocha, que reduce o aumenta el tamaño que tiene la brocha que se está empleando, permitiendo abarcar una mayor porción del terreno con una pasada.

Por otro lado, cada opción tiene una función completamente distinta. *Sculpt* permite crear relieve en el terreno que se está modelando, y *Erase* retirar o disminuir ese relieve. *Smooth* es una herramienta usada para suavizar zonas de terreno escarpadas, especialmente cuando se han creado previamente con otra herramienta de Esculpido.

Finalmente, *Flatten* crea superficies planas o aplana superficies. Al igual que en el *Landscape Paint Mode*, se debe seleccionar la capa donde modelar el terreno, para que lo de una capa no afecte al resto de modificaciones, creándose en esta un mapa de altitudes (*Heightmap*).

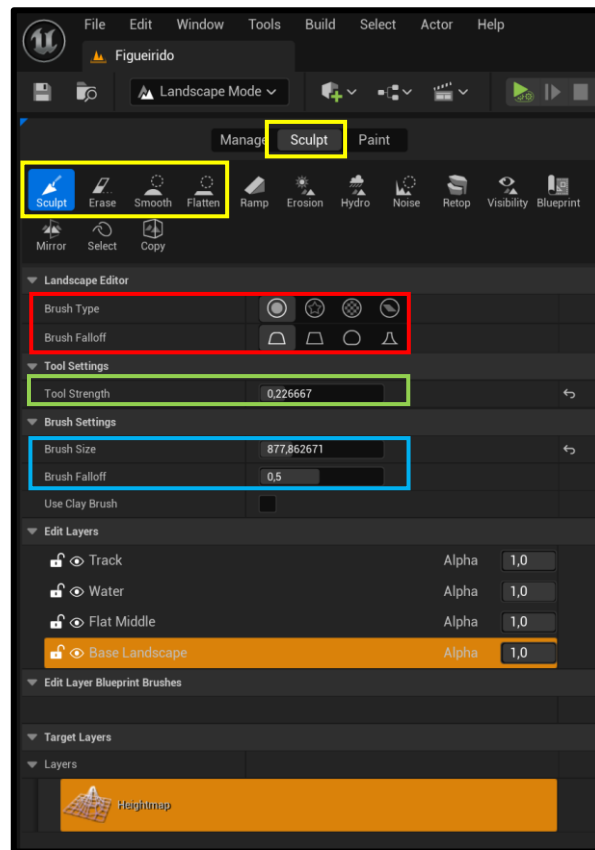


Figura 3-48 *Landscape Sculpt Mode*. (Autoría propia)

El relieve del terreno, no obstante, no influye de manera directa en la recreación del escenario de combate. Al contrario que los edificios y la distribución de estos en el poblado, el relieve no debe ser exacto al real, ya que no es determinante en el adiestramiento de los combatientes. Es por ello, que el modo Paisaje se ha empleado para modelar el terreno y crear irregularidades en este que le brindan al escenario el realismo necesario para una inmersión completa. No obstante, sí que se han tenido en cuenta pequeñas cotas o caídas de terreno en las proximidades del poblado, por ello se ha realizado un pequeño estudio del relieve de PICOZU y próximo a este mediante *Google Earth Pro* e *Iberpix*. Tras esto, a medida que se esculpía el terreno se medía la altitud de las cotas o los valles generados, como en los ejemplos que se muestran en la Figura 3-49.

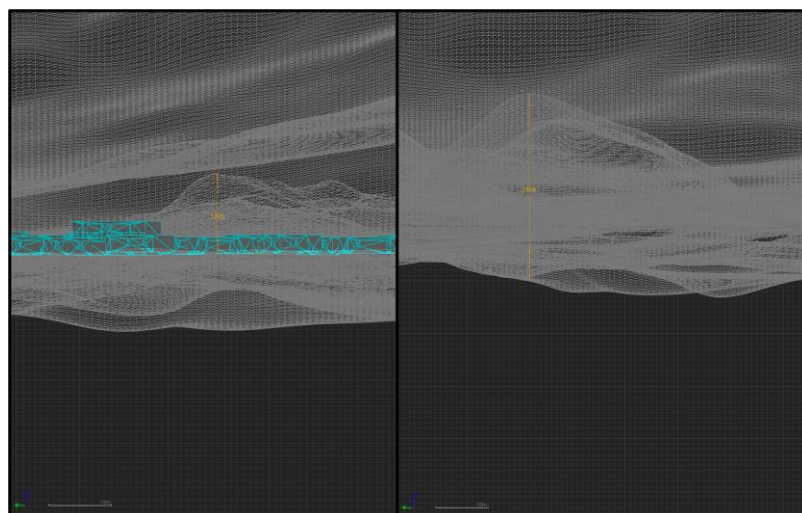


Figura 3-49 Relieve del escenario de combate. (Autoría propia)

3.3.4.2 Foliage Mode

La vegetación es un elemento indispensable en cualquier paisaje, es por ello en nuestro terreno no puede faltar si se pretende buscar un alto grado de realismo. Para ello se va a emplear el modo Follaje, al cual se accede en la barra de herramientas del nivel, en el *Selection Mode* en la esquina superior izquierda, como refleja la Figura 3-50, o mediante *SHIFT+3*. Este modo presenta diversas herramientas que se van a utilizar y se explicarán a continuación.

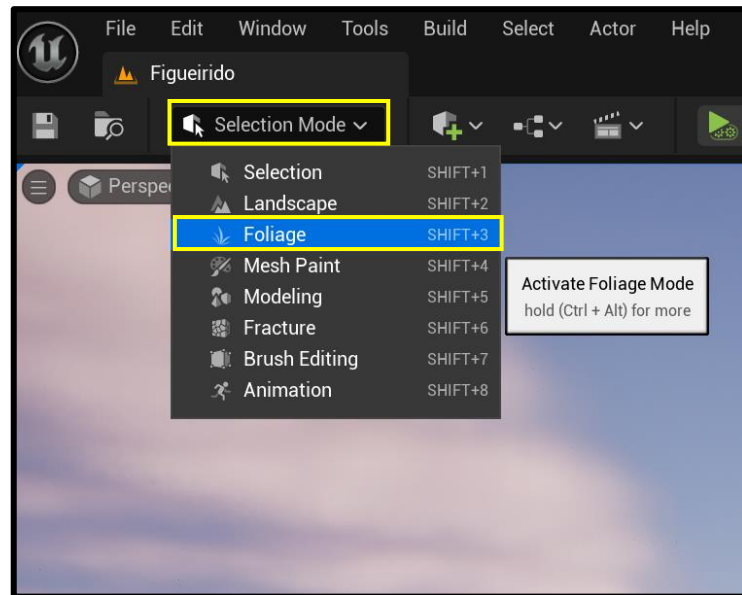


Figura 3-50 *Foliage Mode*. (Autoría propia)

Lo primero de todo debe ser añadir vegetación y árboles al proyecto. El *Starter Content* trae material que se podría emplear, sin embargo, se va a hacer uso de *assets* de mejor calidad, ya que la vegetación es un aspecto que destaca mucho en el escenario. Por un lado, los matorros, helechos y vegetación baja en general se han obtenido a través de la herramienta usada en numerosas ocasiones, *Quixel Bridge*. Una vez buscado como muestra la Figura 3-51, se ha descargado y añadido al proyecto, guardándose directamente en la carpeta “*MegaScans*” donde se almacena todos los elementos descargados desde *Quixel*, en una carpeta nueva denominada “*Foliage*”.

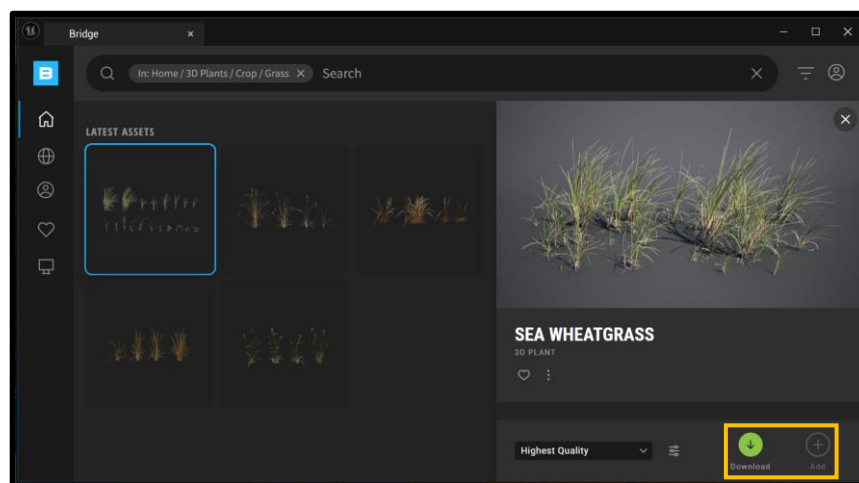


Figura 3-51 Vegetación descargada de *Bridge*. (Autoría propia)

Una vez añadidos al proyecto, estos *assets* y sus materiales presentan una serie de parámetros que se pueden editar a gusto del diseñador. En la Figura 3-52 se muestra la ventana que se abre al seleccionar

uno de los elementos de vegetación importados en el proyecto. Los parámetros que se pueden cambiar de los elementos y su material afectan a los tonos de las plantas, la intensidad del viento que los afecta se puede escalar en los ejes XYZ, variar la aspereza del material y añadir variación cromática.

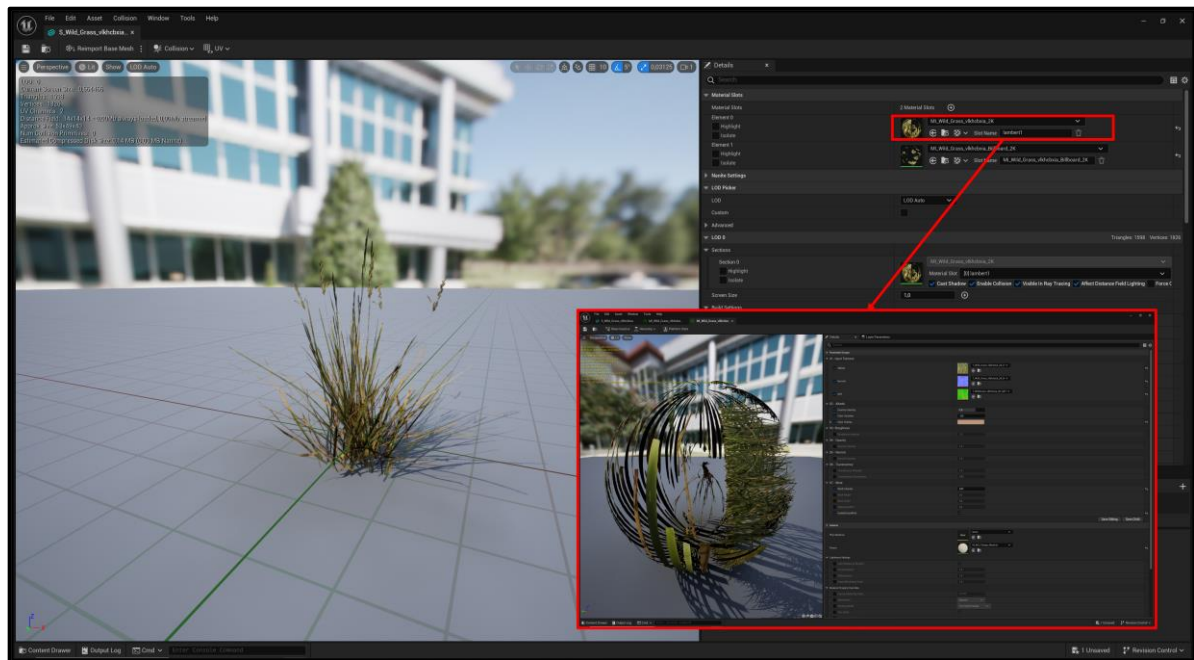


Figura 3-52 Wild Grass. (Autoría propia)

Por otro lado, los árboles no son elementos que traiga el *Starter Content* ni ofrezca *Quixel Bridge*. Se ha tenido que descargar un pack de la *Epic Games Store*, como muestra la Figura 3-53, “*MegaScans Trees: European Black Alder*”.

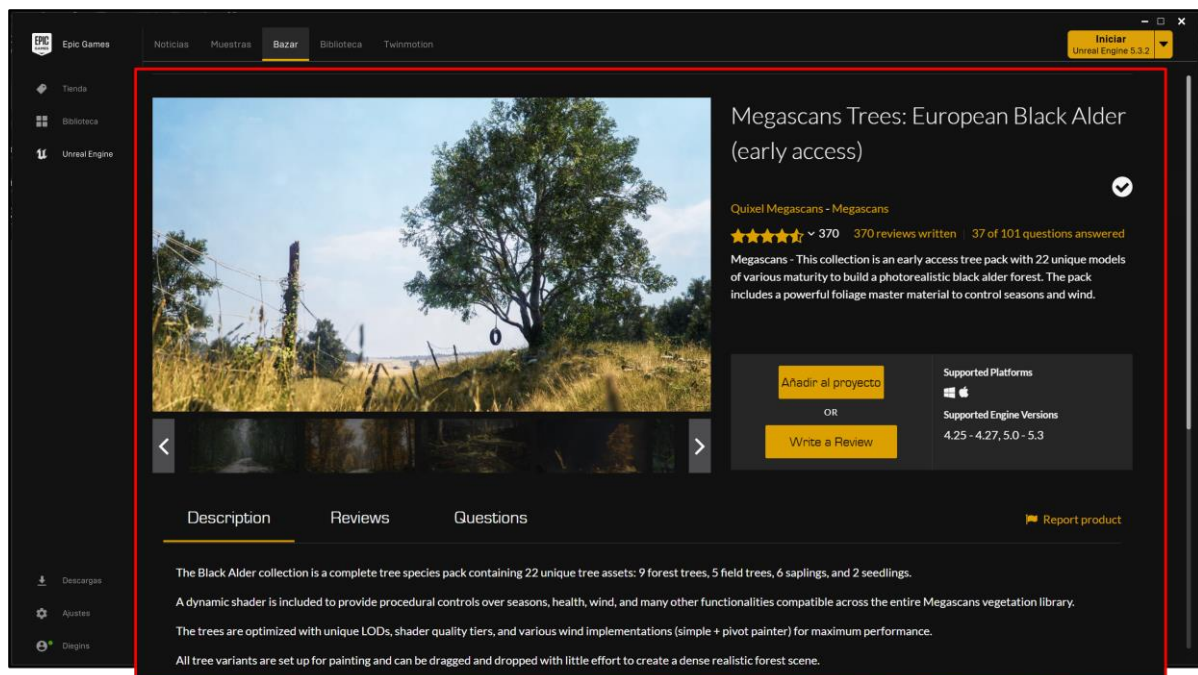


Figura 3-53 Pack árboles *MegaScans*. (Autoría propia)

Una vez se selecciona el proyecto al que se quiere añadir el pack, en la carpeta de Contenido se creará una nueva carpeta denominada “*BlackAlder*”, con el contenido mostrado en la Figura 3-54. Una

carpeta con todos los *static mesh* de los árboles que incluye dicho paquete, sus geometrías, materiales y texturas en otras carpetas distintas y, por último, una carpeta con un nivel en que están añadidos todos los elementos para darle al usuario una vista previa de ellos.

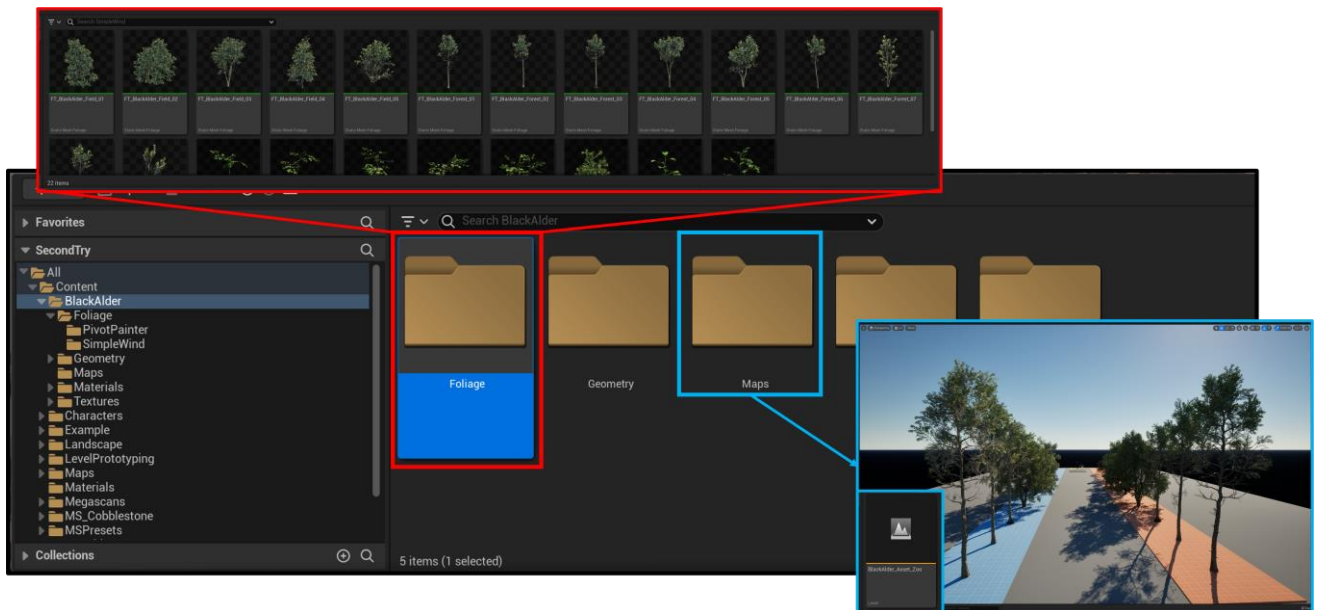


Figura 3-54 Carpeta "BlackAlder". (Autoría propia)

De la misma manera que en la vegetación añadida desde *Quixel Bridge*, también se pueden ver y cambiar los parámetros y propiedades de estos árboles. En la Figura 3-55 se muestra uno de los *assets*, que posee tres materiales distintos, correspondientes al tronco, la corteza y las ramas. El material de esta última ofrece la posibilidad de añadir variación cromática, movimiento provocado por el viento, cambiar los tonos, tener en cuenta las estaciones para el color de estos y variar su aspereza, entre muchas otras.

Estas propiedades se pueden modificar a gusto del editor, y son cruciales para el realismo que confiere la vegetación al escenario.

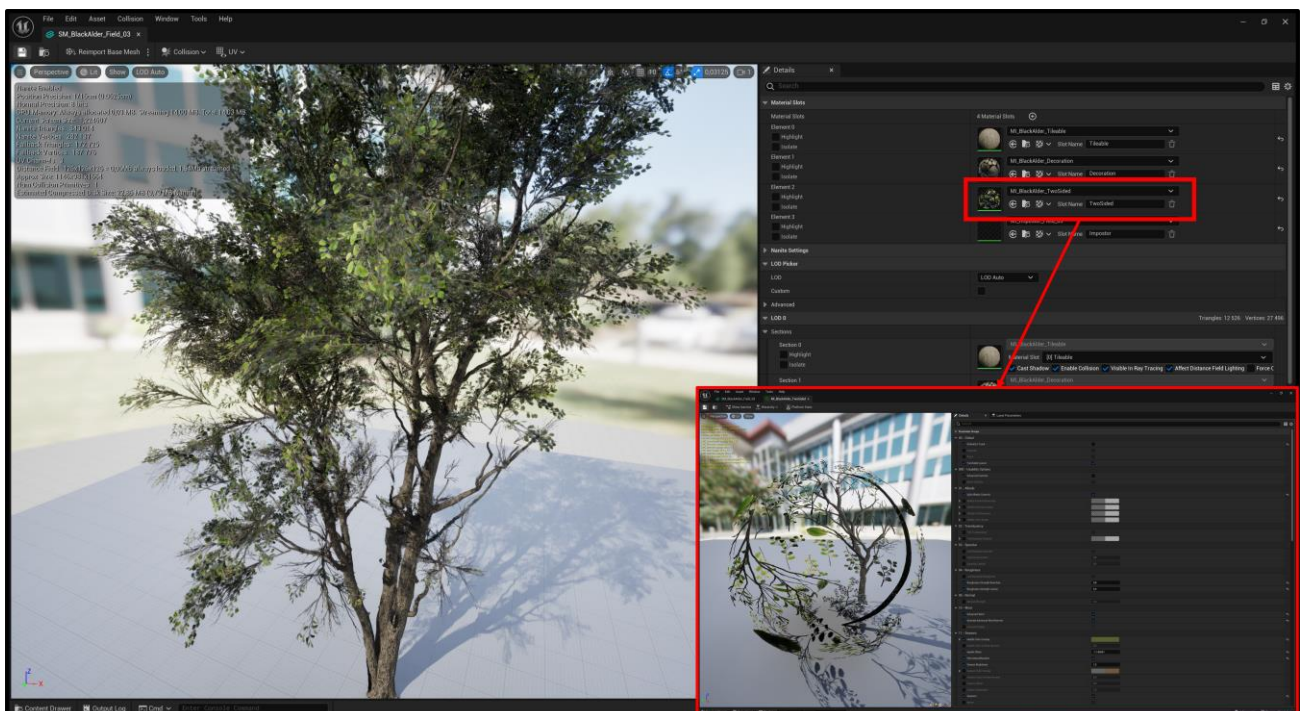


Figura 3-55 Black Alder Tree. (Autoría propia)

Una vez elegido el *Foliage Mode*, deberían aparecer directamente la vegetación añadida al proyecto. En caso de no ser así, se añadirá manualmente en la opción recuadrada en naranja en la Figura 3-56. Cuando ya esté añadida, se deben seleccionar aquellos que se desean emplear al mismo tiempo. El modo Follaje ofrece herramientas de gran utilidad que facilitan en sobremedida añadir vegetación a nuestro mundo.

La primera de todas sería el *Foliage Paint Mode*, cuyos parámetros se muestran en la Figura 3-56. Recuadrado en rojo se encuentran las características de la brocha que se va a usar para añadir la vegetación seleccionada, con el tamaño de esta, la densidad de pintura y de borrado. Cuanta más densidad, más poblado estará el terreno, de manera que para los árboles se usará una brocha muy grande de densidad baja, para llenar grandes extensiones de terreno de poca cantidad de árboles. Por el contrario, para la hierba brocha pequeña con mucha densidad, para poder llenar la zona del poblado y alrededores. El *Foliage Erase Mode* tiene los mismos parámetros y lo determinará la densidad de borrado. El número de esta característica determina cuánta densidad de vegetación se va a dejar en la zona por la que se pase la brocha. Recuadrado en azul se encuentran una serie de filtros que determinan dónde se va a añadir vegetación con la brocha: en el paisaje, sobre *static meshes* o sobre vegetación ya existente, entre otras.

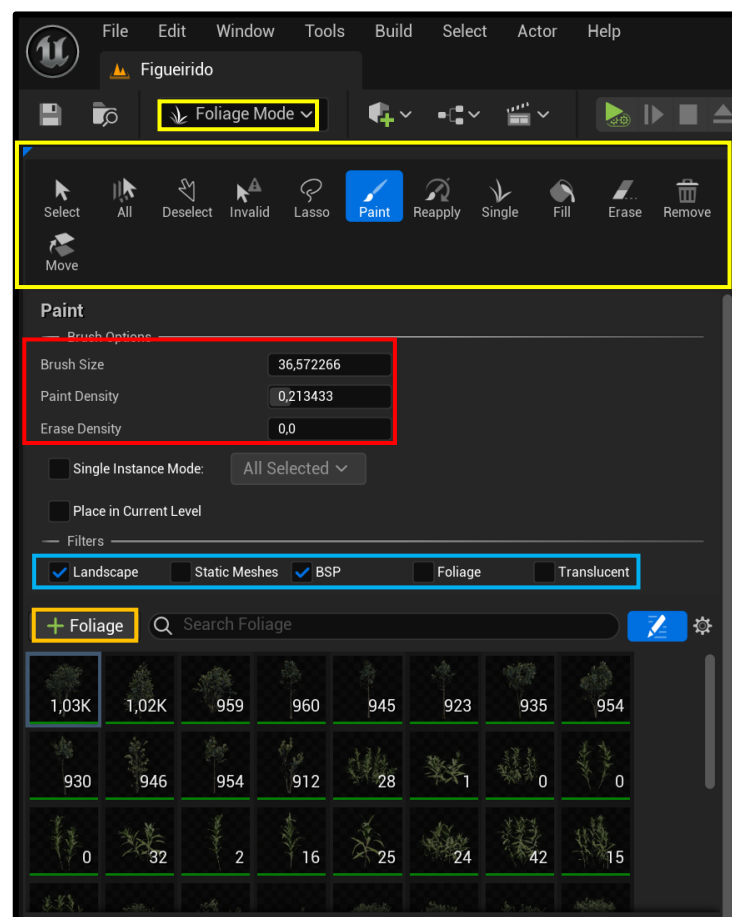


Figura 3-56 Foliage Paint/Erase Mode. (Autoría propia)

La siguiente herramienta de la que se va a hacer uso es el *Foliage Select Mode*, que permite seleccionar elementos de follaje individuales o más de uno simultáneamente y ver sus propiedades, como las mostradas en la Figura 3-57. Entre estas, hay que destacar que se puede escalar la vegetación y añadirle variación de escala a la hora de pintar, para que haya varianza entre ellas y no sea toda la vegetación uniforme. Este es un punto importante para la búsqueda de realismo. Por otro lado, se puede decidir si se desea alinear con la normal o no (perpendicular al terreno), la pendiente máxima en la que se quiere añadir vegetación, para evitar tener árboles en zonas muy escarpadas, y determinar los

parámetros de colisión, que se ha aplicado *BlockAll* a todos los árboles, pero se ha quitado de matojos, hierba y pequeñas plantas. La herramienta *All* permite seleccionar todos los *assets* de follaje simultáneamente, y *Deselect* retirar la selección actual.

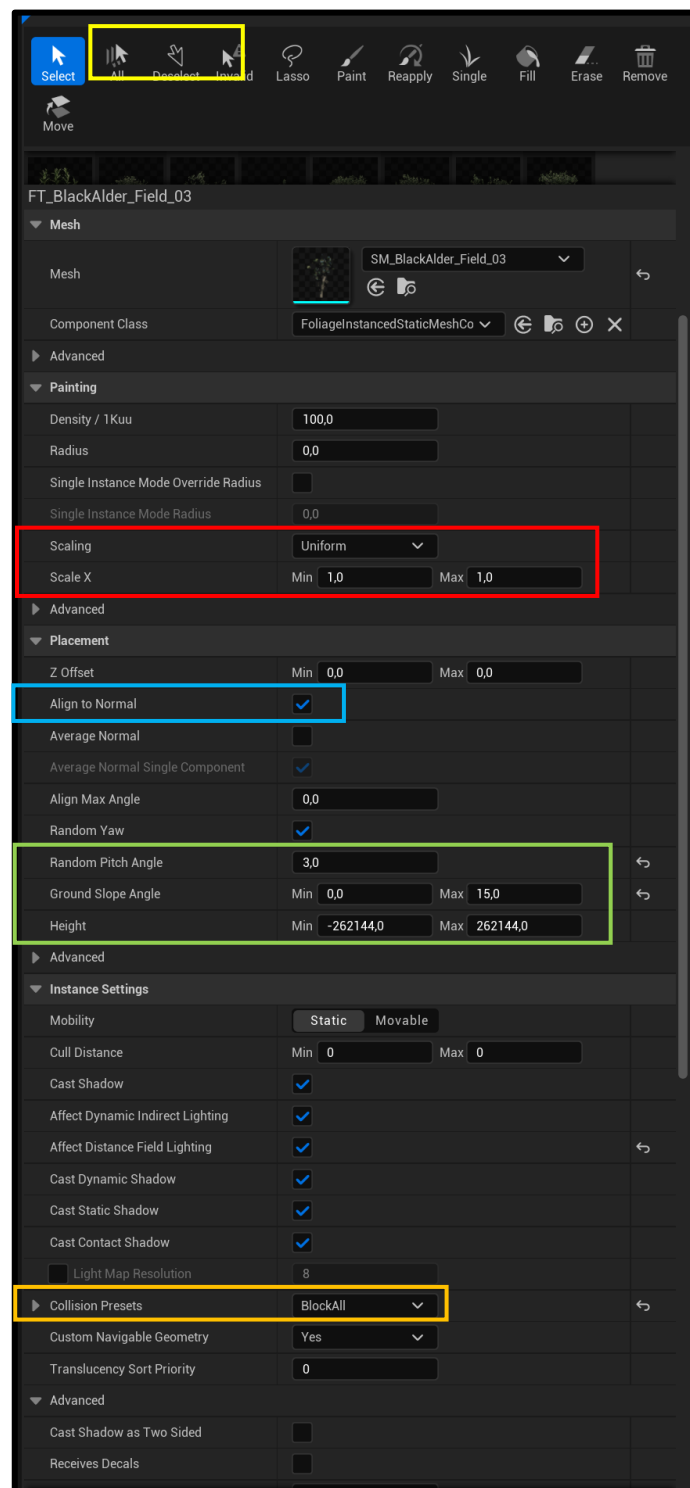


Figura 3-57 Foliage Select Mode. (Autoría propia)

La última herramienta empleada, *Foliage Single Mode*, al que se puede acceder directamente en la opción *Single Instance Mode* recuadrada en amarillo en la Figura 3-58. Permite añadir en un punto un *asset* individual de follaje. Aquel elemento que este seleccionado se añadirá donde se elija. Es una herramienta muy útil a la hora de añadir vegetación en el interior del poblado: un par de árboles entre

dos casas o pegado al camino, helechos creciendo por la pared de los edificios o pegados a estos, hierba en las zonas menos transitadas, entre otras. Proporciona realismo al escenario.

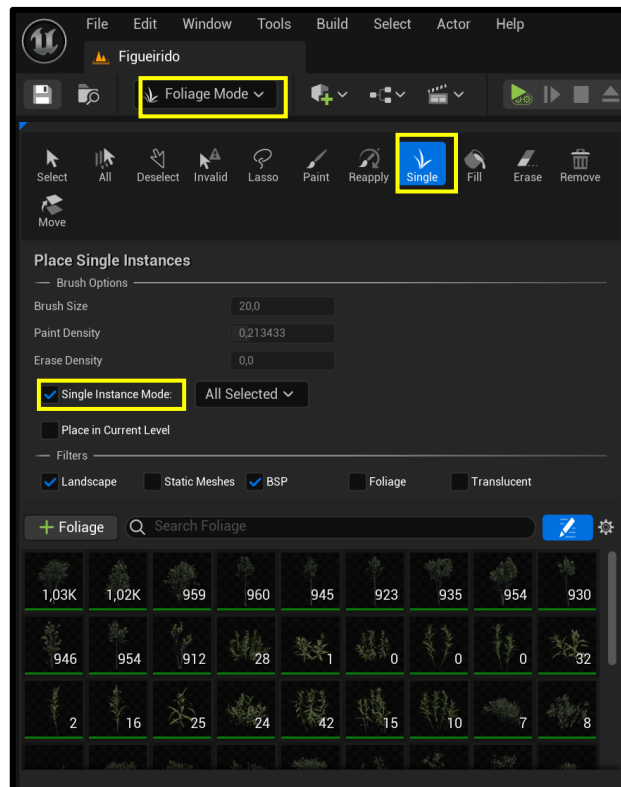


Figura 3-58 *Foliage Single Mode*. (Autoría propia)

Al igual que el relieve, la vegetación no es un factor clave en la recreación exacta del escenario, ya que no influye directamente en el adiestramiento que haya exactamente los mismos helechos o árboles. No obstante, sí que es clave para dar la impresión de realidad y asegurar una inmersión completa del usuario. Se ha tenido en cuenta las zonas más pobladas de vegetación, el resto de ella se ha añadido de manera aleatoria pero realista. Poco a poco, el nivel se ha ido llenando de verde, como muestra la Figura 3-59, pero siempre con tonos amarillentos para mantener esa impresión de poblado afgano que posee PICOZU.

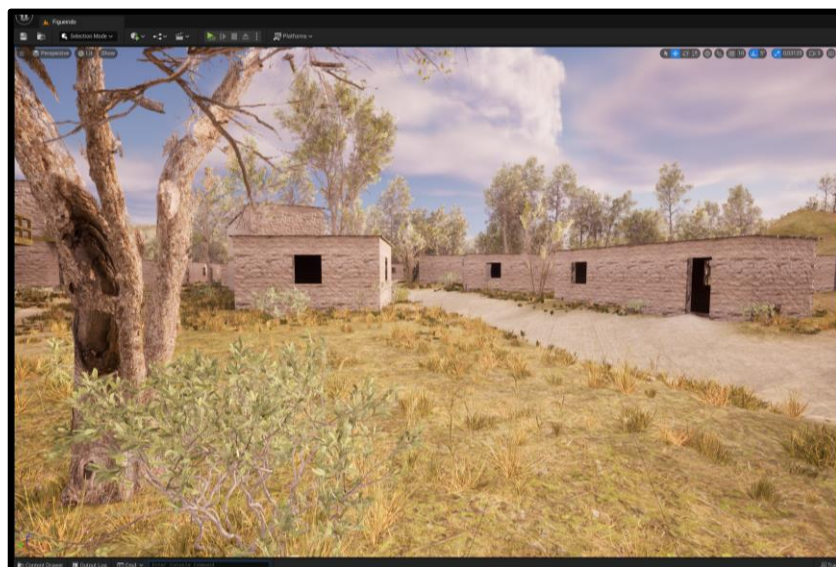


Figura 3-59 Vegetación añadida en el escenario. (Autoría propia)

3.3.4.3 Detalles de realismo y ambiente

Como ya se ha mencionado, rocas, enseres, objetos cotidianos, material militar y de construcción son elementos 3D que dotan al escenario del realismo buscado. Es por ello, que una vez moldeado el terreno del escenario y poblado de vegetación, se deben importar *assets* 3D de *Quixel Bridge*. Se han buscado distintas colecciones adecuadas para el poblado, entre las que destacar las reflejadas en la Figura 3-60: *junkyard*, *roadside construction*, *abandoned factory*, *industrial barrels*, *castle ruins*, *broadleaf forest*, *tundra*, *sandbags* y *military equipment*, entre otras.

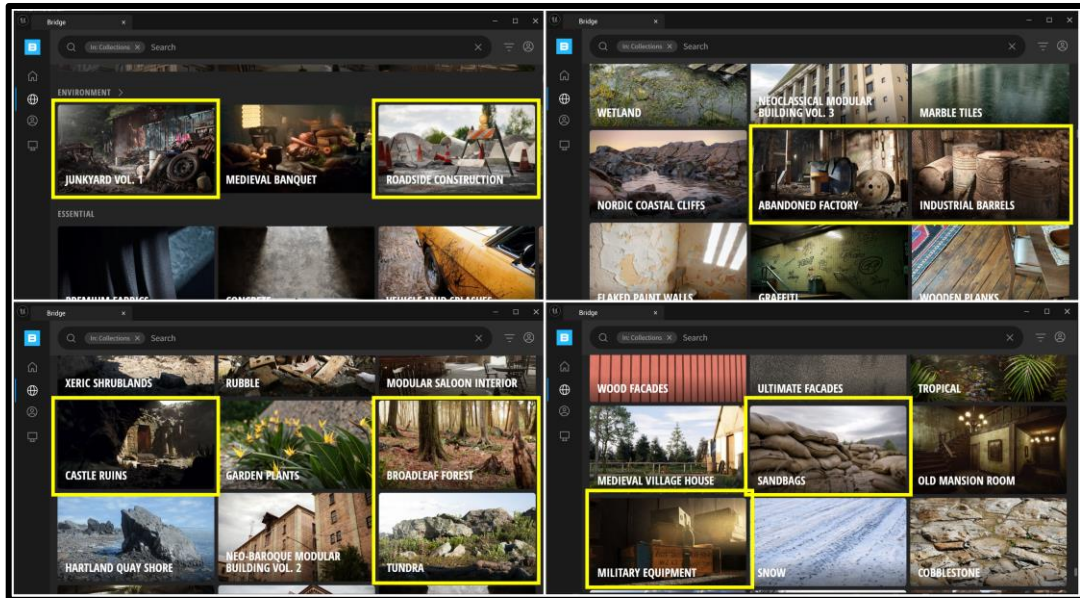


Figura 3-60 Colecciones Quixel Bridge. (Autoría propia)

Una vez descargado elementos 3D de estas colecciones, se ha añadido al proyecto en la carpeta de “*MegaScans*”, en una nueva carpeta denominada “3D Assets”. Por un lado, se han añadido elementos de la naturaleza: árboles caídos, ramas tiradas, rocas, agrupaciones de pedruscos y en general piedras de distintos tamaños como los ejemplos mostrados en la Figura 3-61. Se han añadido en el *Selection Mode*, y se han rotado, variado el tamaño y desplazado mediante las opciones ofrecidas por la interfaz de *Unreal*. Una herramienta muy útil empleada es la de duplicar objetos, manteniendo *ALT* y arrastrando el objeto 3D. El poblado entero se ha llenado de estos *assets*, especialmente los exteriores de los edificios y las proximidades a los caminos, que son las zonas más transitadas del escenario.

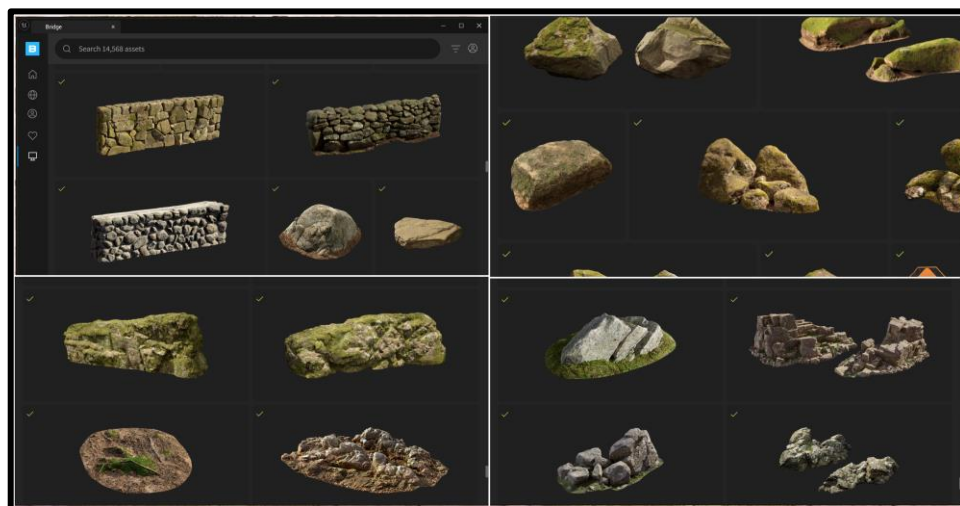


Figura 3-61 Elementos de la naturaleza añadidos. (Autoría propia)

3.4 Bibliotecas

La recreación del polígono de instrucción de combate en zona urbanizada tiene como finalidad el adiestramiento. Poder realizar la práctica de MOUT, CQB y sus técnicas y procedimientos, a nivel individual y a nivel unidad. Por ello es necesario introducir en este proyecto las armas orgánicas de los batallones de Infantería de Marina y a enemigos que representen la amenaza real, así como otros actores que se pueden encontrar en este tipo de escenario: civiles, rehenes o políticos, entre otros. Estos elementos serán empleados en el adiestramiento y contribuyen al realismo del escenario. Esta el motivo de haberse creado dos bibliotecas propias en el proyecto con este tipo de elementos: armamento, enemigos, aliados y otros actores. *Sketchfab* y *Epic Games Store* han sido páginas de gran utilidad para este apartado.

Se ha guardado todo en la carpeta “*My_Things*”, dónde se importó previamente los edificios desde *Inventor*. En esta carpeta se ha creado una denominada “*Characters*” que hará la función de biblioteca de enemigos, aliados y otros actores, como civiles. Por otro lado, en la carpeta “*Weapons*” se almacenarán, organizadas en carpetas, el armamento orgánico de la BRIMAR.

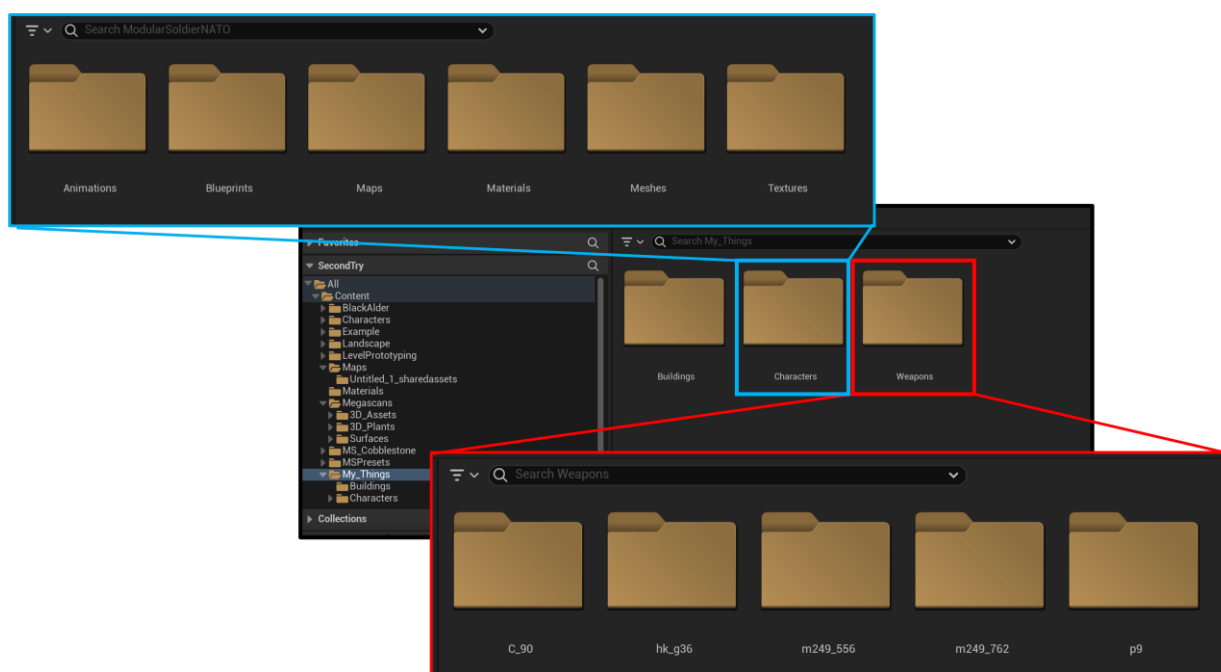


Figura 3-64 Bibliotecas distribuidas en carpetas. (Autoría propia)

En la Figura 3-64 se reflejan las bibliotecas de actores, con animaciones, *blueprints*, mapas y texturas entre otros, y la biblioteca de armamento, con el C-90, el fusil HK, dos ametralladoras y la pistola P9.

3.4.1 Biblioteca de armamento

Al ser un escenario de combate, se ha visto la necesidad de incluir una biblioteca con el armamento del que se hará uso en el adiestramiento. Las unidades de Infantería de Marina, así como la CIA de alumnos de la Escuela Naval Militar, cuentan con armamento orgánico que todo combatiente debe conocer y saber emplear, independientemente de su rango o condición. Este es el porqué del armamento escogido para importar al proyecto: armas orgánicas empleadas por los oficiales alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar durante sus prácticas de Instrucción y Adiestramiento a lo largo de su formación. Esto incluye el siguiente armamento: fusil de asalto HK-G36E, pistola FN P9 17, ametralladora MINIMI ligera y media, y el sistema de arma C-90.

El fusil de asalto Heckler & Koch G36 (Gewehr Model 36) E es el arma individual de cada combatiente, de calibre 5,56 x 45 mm OTAN y accionamiento por toma de gases con cierre rotatorio. Tiene una longitud aproximada de 1 m, alimentación de 30 cartuchos y alcance eficaz de 400 metros.

Pesa alrededor de 4 kg municionado por completo y posee una cadencia de 750 disparos por minuto [60]. La página de *Sketchfab* ofrece un modelo 3D gratuito muy fiel al modelo real, que se ha importado, con material y texturas incluidas, en *Unreal Engine* como *skeletal mesh* [61].

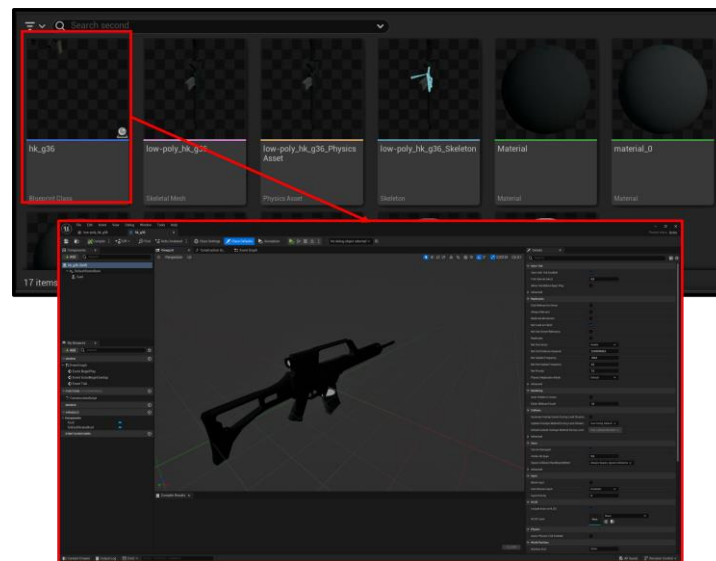


Figura 3-65 HK-G36E. (Autoría propia)

Como refleja la Figura 3-65, en *Unreal* se importará varios elementos: *skeletal mesh*, *physics asset*, *skeleton* y materiales y texturas. Con estos elementos se genera un *blueprint class*, que es el tipo de actor que permitirá al usuario del escenario jugar con el fusil, y que se muestra en la imagen.

La pistola FN P9 17, de origen belga, es una pistola semiautomática de 9 x 19 mm OTAN (Parabellum) de doble acción. Alimentada con un cargador de 16 cartuchos, tiene una longitud de 187 mm y un alcance eficaz de 50 m. Destacar que posee un carril *picatinny* que permite añadir accesorios bajo el cañón [62]. Al igual que el fusil, se ha obtenido el modelo 3D en formato (.glb) de *Sketchfab* de mismas dimensiones y características que el modelo real [63]. Este modelo incluía sus partes separadas en distintos *static meshes*, el material y la textura de la pistola, como muestra la Figura 3-66.

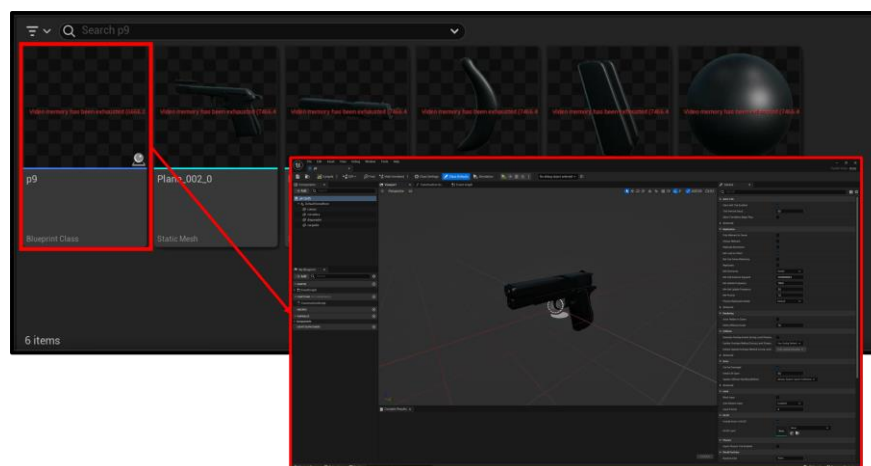


Figura 3-66 Pistola FN P9 17. (Autoría propia)

Se crea nuevamente una *blueprint class* en el que se añaden los *static meshes* de todas las partes, aplicándole a cada uno su material correspondiente. Por defecto, todos traen mismo origen y ubicación respecto a él, de manera que se irán colocando las piezas secuencialmente una sobre otra hasta tener la pistola completa en el *blueprint*, que se muestra en la Figura 3-66 y permitirá hacer uso de este actor.

La ametralladora FN MINIMI (Mini ametralladora) es una ametralladora ligera de origen belga, de 5,56 x 45 mm OTAN, funcionamiento por toma de gases y cierre abierto. Posee una longitud de 766 mm, un peso exacto de 7,35 kg y un alcance efectivo de 800 m. Alimentación por cinta, caja, bolsa o cargadores, tiene una cadencia de tiro de 700-1000 dpm y se dispone de una por Equipo de Fuego. Existe una variante de mayor calibre, 7,62 x 51 mm OTAN, con características muy similares empleada en las secciones de armas por personal más especializado. Tiene una longitud de 1000 mm, un peso de 8,6 kg y un alcance efectivo de 1000 m [64]. A pesar de no haberse encontrado el modelo exacto de esta ametralladora MINIMI, se han encontrado dos muy similares de calibres 5,56 y 7,62 mm en *Sketchfab*, que son los mostrados en las figuras Figura 3-67 y Figura 3-68 [65] [66].

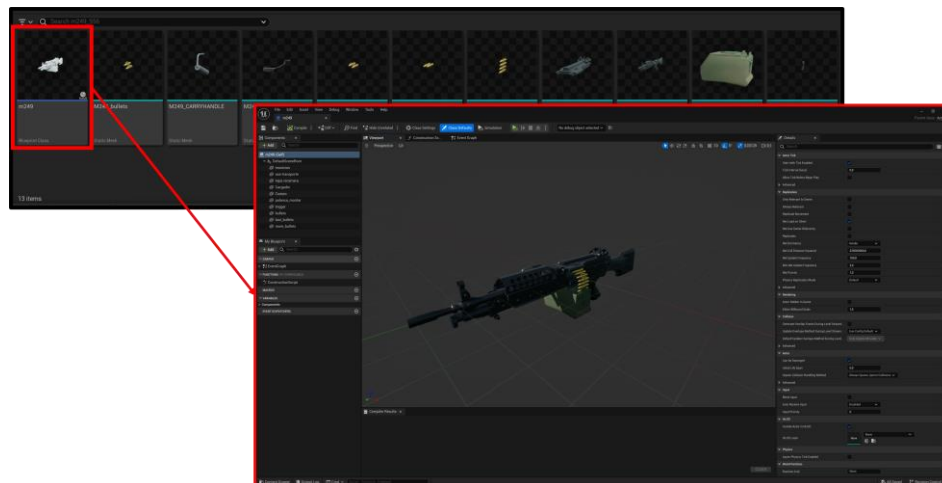


Figura 3-67 MINIMI AML. (Autoría propia)

Por un lado, la ametralladora ligera se ha importado como distintos *static meshes* sin material ni textura. Se ha aplicado un material al cuerpo, las partes de plástico, la caja de munición y la munición, y todas ellas se han juntado en una *blueprint class* de manera sencilla al tener el mismo origen de coordenadas. La Figura 3-67 refleja la ametralladora ya montada con sus materiales correspondientes, lista para incluirla en el proyecto.

Por el contrario, la ametralladora media ha sido importada como un solo *static mesh* con los materiales y las texturas adecuadas. Simplemente se crea una *blueprint class* con este *static mesh* y se ajusta el tamaño al real, 1 m. Se muestra en la Figura 3-68.

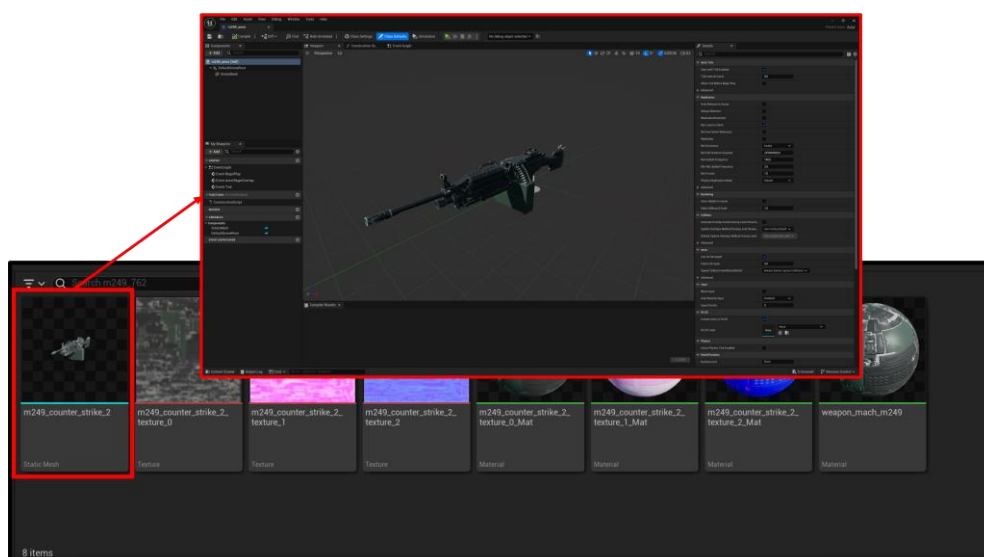


Figura 3-68 MINIMI AMM. (Autoría Propia)

Por último, el C-90 es un sistema de arma de calibre 90 mm para la infantería con diversas municiones (contra-carro, doble-propósito, fumígena, anti-búnker) integradas en su tubo lanzador desechable. En líneas generales, tiene una longitud de 1 m, un peso de 5 kg y un alcance a un blanco puntual de 300 m y a un blanco de zona de 800 m [67]. El modelo 3D se ha descargado e importado desde *Sketchfab* en formato (.glb) y, a pesar de no haberse encontrado el mismo modelo, presenta muchas similitudes con el lanzacohetes empleado por la BRIMAR [68].

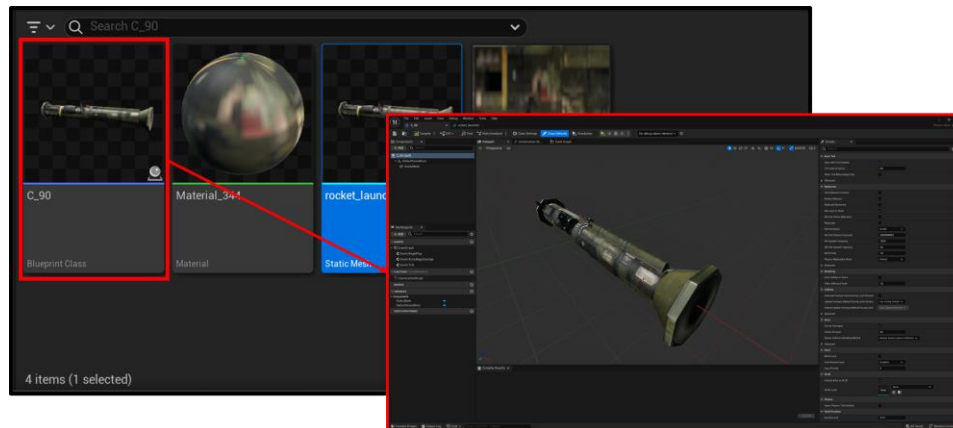


Figura 3-69 Sistema de arma C-90. (Autoría propia)

En la Figura 3-69 se muestra cómo se ha importado en *Unreal Engine* como *static mesh* con el material y las texturas. Se ha creado la *blueprint class* de la imagen a partir de dicho *static mesh*, escalándolo en las dimensiones adecuadas, de manera que al añadir el *blueprint* al proyecto no haya que dimensionarlo cada vez que se desea hacer uso del mismo.

Todos los sistemas de armas de la biblioteca se han descargado e importado desde *Sketchfab*. No obstante, ha sido necesario escalarlos al importarlos, decidir si añadirlos con material o seleccionar uno del software y crear las *blueprint class* para adecuar cada arma a sus dimensiones, materiales y orientación, así como combinar y centrar respecto al origen todas las piezas en algunos casos.

3.4.2 Biblioteca de actores

La necesidad de introducir unos enemigos en el escenario ha llevado a la adquisición e importación de un módulo de personajes con distintos uniformes de ejércitos perteneciente a la OTAN, mostrado en Figura 3-70.

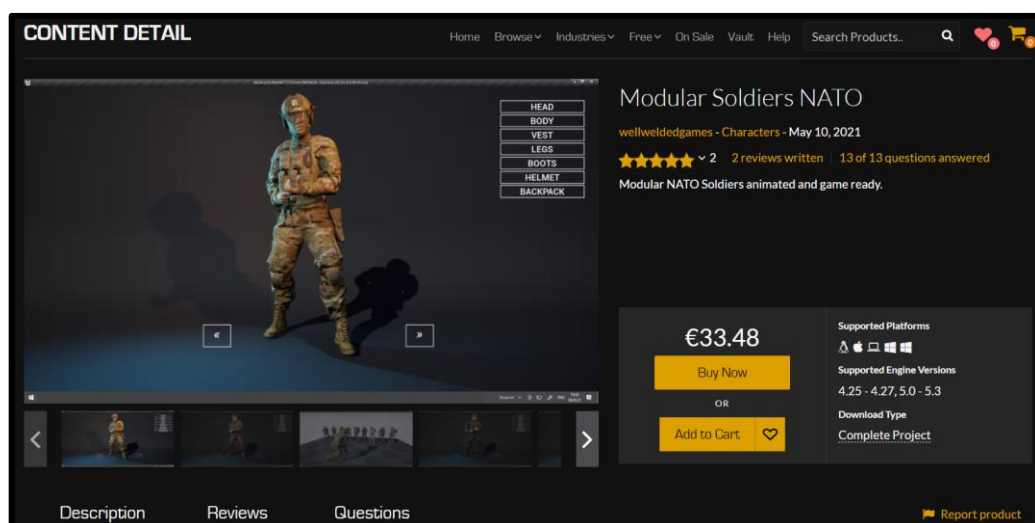


Figura 3-70 Modular Soldiers NATO [54].

Este paquete, como refleja la Figura 3-64, viene repartido en varias carpetas, destacando la de “Blueprints”, “Maps” y “Meshes”. La carpeta de “Blueprints” contiene lo que muestra la Figura 3-71, con las *blueprint class* de customización de los soldados, permitiendo cambiarle la uniformidad, de movimientos y reacciones básicas (*BP_Gamemod*) y todo eso combinado en el *blueprint* del *ModularSoldier*.

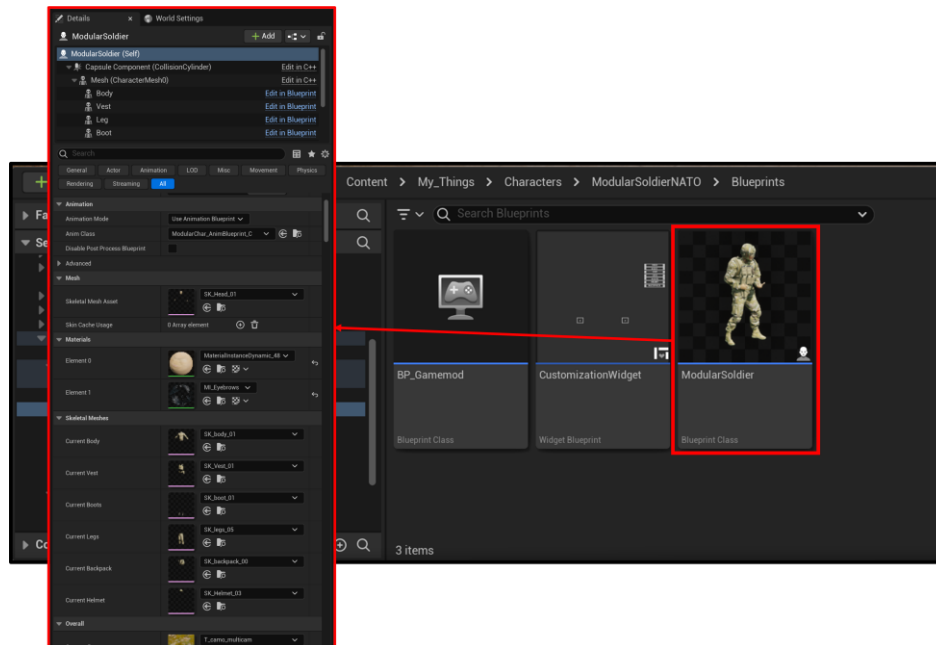


Figura 3-71 Carpeta "Blueprints". (Autoría propia)

Por otro lado, la carpeta “Meshes” contiene diversos *meshes* como el *skeletal mesh* mostrado en la Figura 3-72, con los *physics asset* del personaje en sí, sus características en una clase *skeleton* y una plataforma como *static mesh*. Todos estos elementos juntos conforman el actor a falta de añadirle movimiento y reacciones en un *blueprint*.

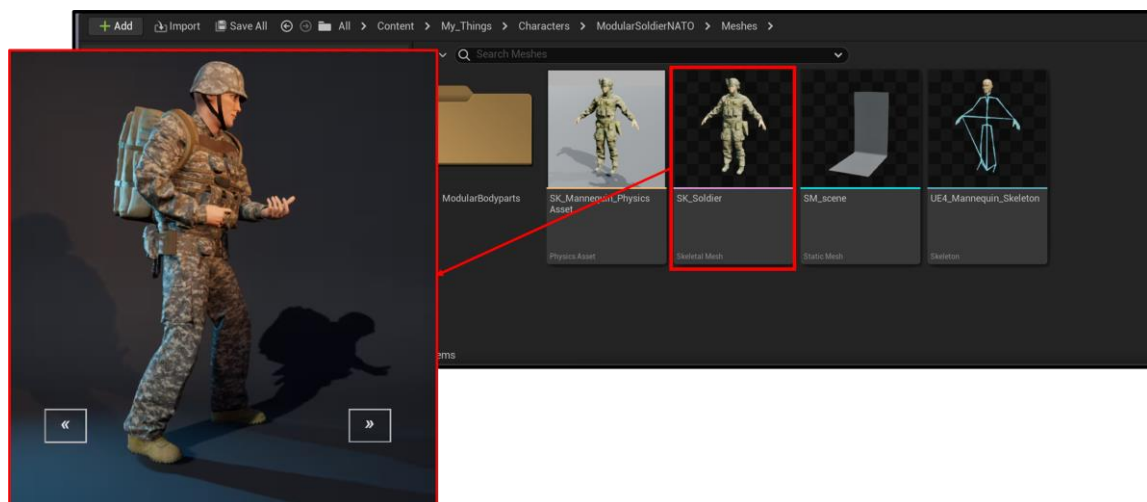


Figura 3-72 Carpeta "Meshes". (Autoría propia)

La última carpeta de interés es la denominada “Maps”. Esta contiene una serie de niveles con ejemplos y muestra de todo el posible equipo y uniformidad de los soldados modulares. En el nivel “*ExamplesMP*” aparecen un total de nueve soldados con diversas uniformidades simulando distintos ejércitos de la OTAN. En el nivel “*CustomizationMP*” aparecen gráficamente todo el equipo disponible por clases, así como uniformidades. Todo esto se observa en la Figura 3-73.

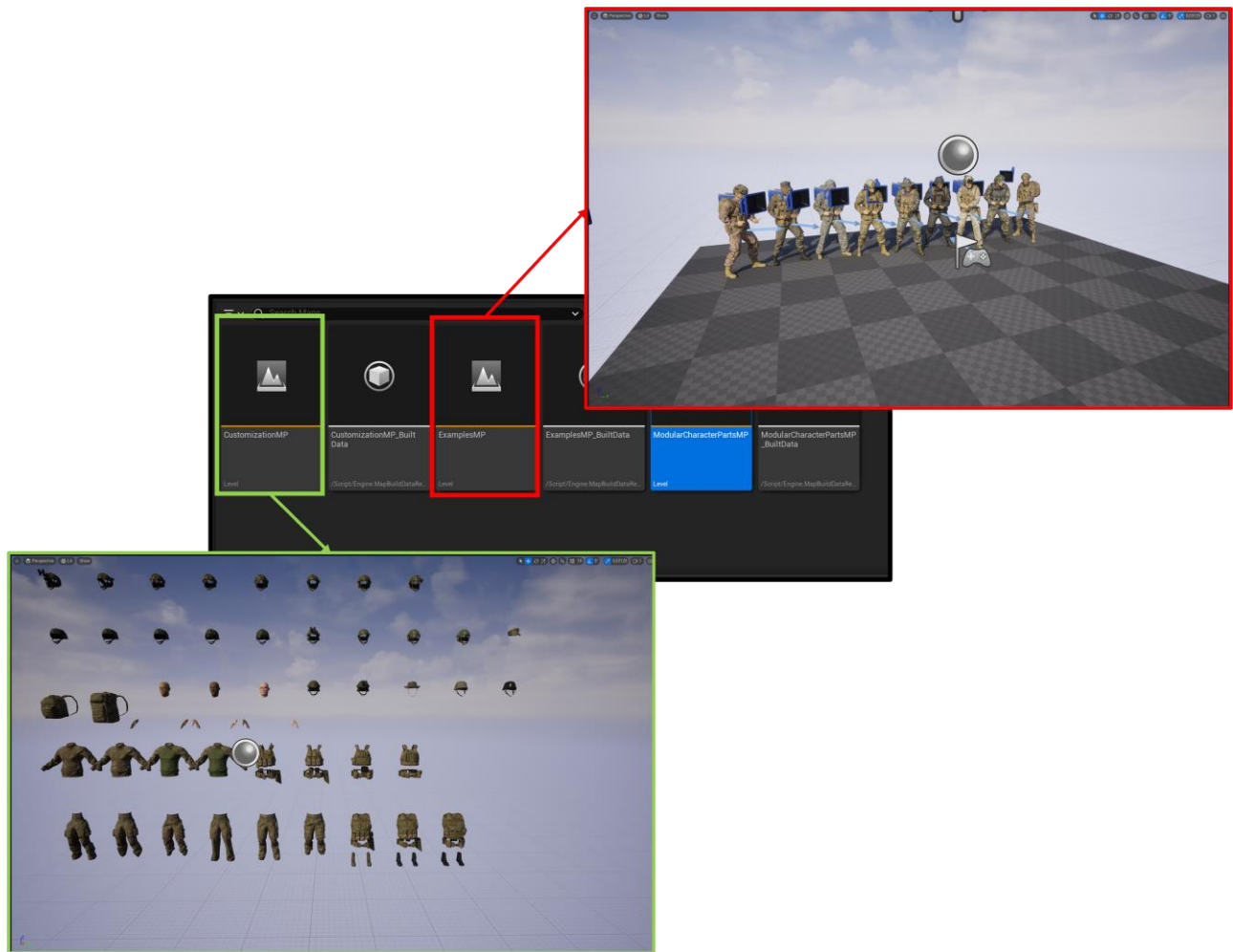


Figura 3-73 Niveles de paquetes de soldados modulares. (Autoría propia)

Finalmente, para esta biblioteca también se ha contado con una herramienta de *Unreal Engine 5* de la que ya se ha hablado, *Quixel Bridge*. Una de las opciones que ofrece esta biblioteca es una amplia librería de metahumanos por defecto, de distintos rasgos, géneros y edades, mostrada en la Figura 3-74. Se pueden descargar estos personajes directamente como actores e incluir en el proyecto en el que se está trabajando, permitiendo añadir civiles al escenario de combate.

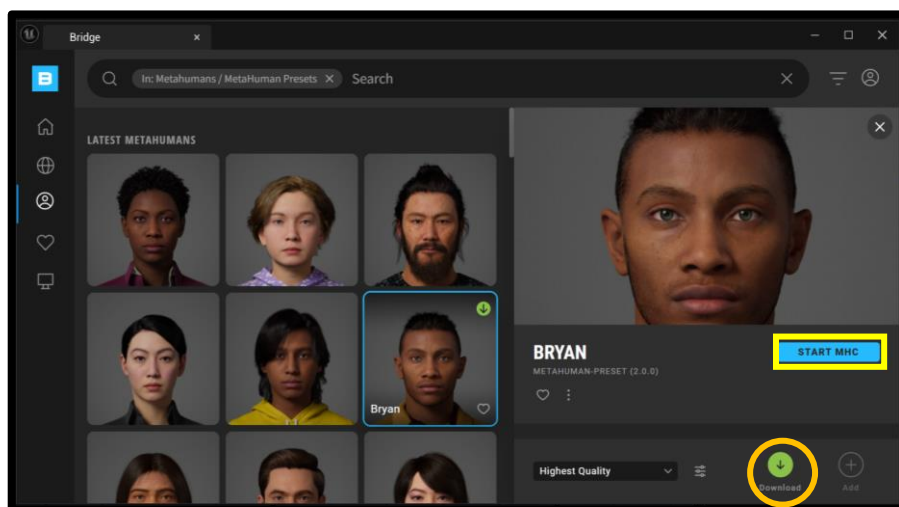


Figura 3-74 Librería de metahumanos de *Bridge*. (Autoría propia)

No obstante, si se desea personalizar las personas que se van a incluir, se elige la opción recuadrada en amarillo en la Figura 3-74: *START MHC (MetaHumans Creator)* [69]. Esto abrirá directamente el Creador de Metahumanos ligado a la cuenta personal de *Epic Games*, y crear desde 0 un humano con las características deseadas. El MHC, reflejado en la Figura 3-75, permitirá incluir en el escenario de combate civiles de distinto género, etnia y edad para complementar así el adiestramiento del combatiente en operaciones MOUT.

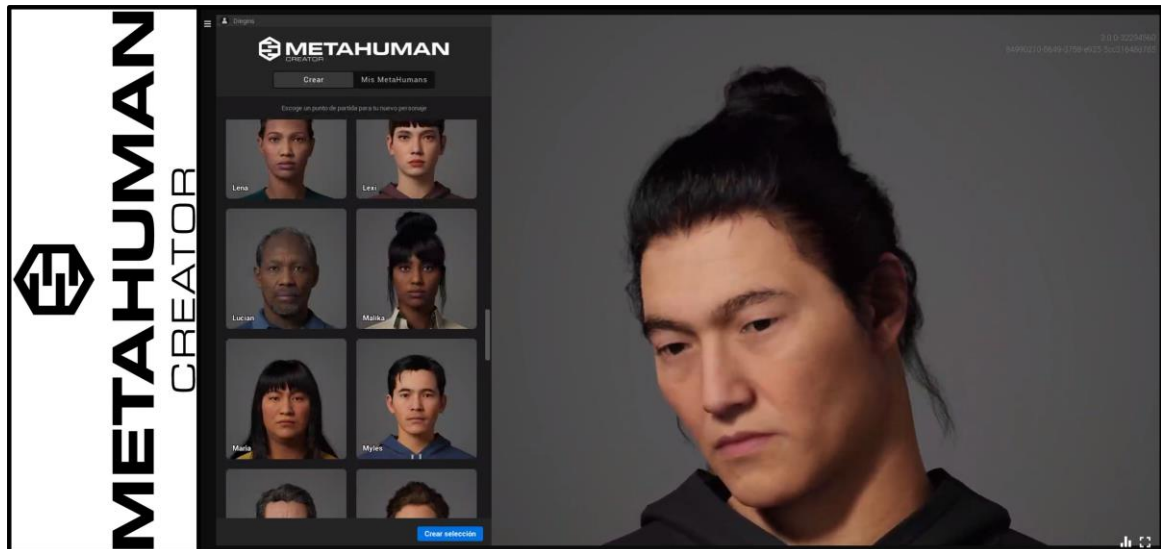


Figura 3-75 *MetaHuman Creator*. (Autoría propia)

Al incluir estos actores en el proyecto directamente a través de *Bridge*, se creará una carpeta dentro de la biblioteca de actores denominada “*MetaHumans*”, donde se importarán todos los humanos que se creen y se descarguen desde el MHC. Se han añadido un total de 10 metahumanos que representan los civiles de poblado afgano, además de una carpeta común creada automáticamente denominada “*Common*”, donde se guardan *blueprints*, *skeletal* y *static meshes* generales, entre otras cosas. En la carpeta individual de cada metahumano se incluye lo mostrado en la Figura 3-76: los distintos *assets* que componen el *blueprint* final del personaje *Dhruv*, recuadrado en amarillo, que además viene programado con una serie de movimientos básicos.

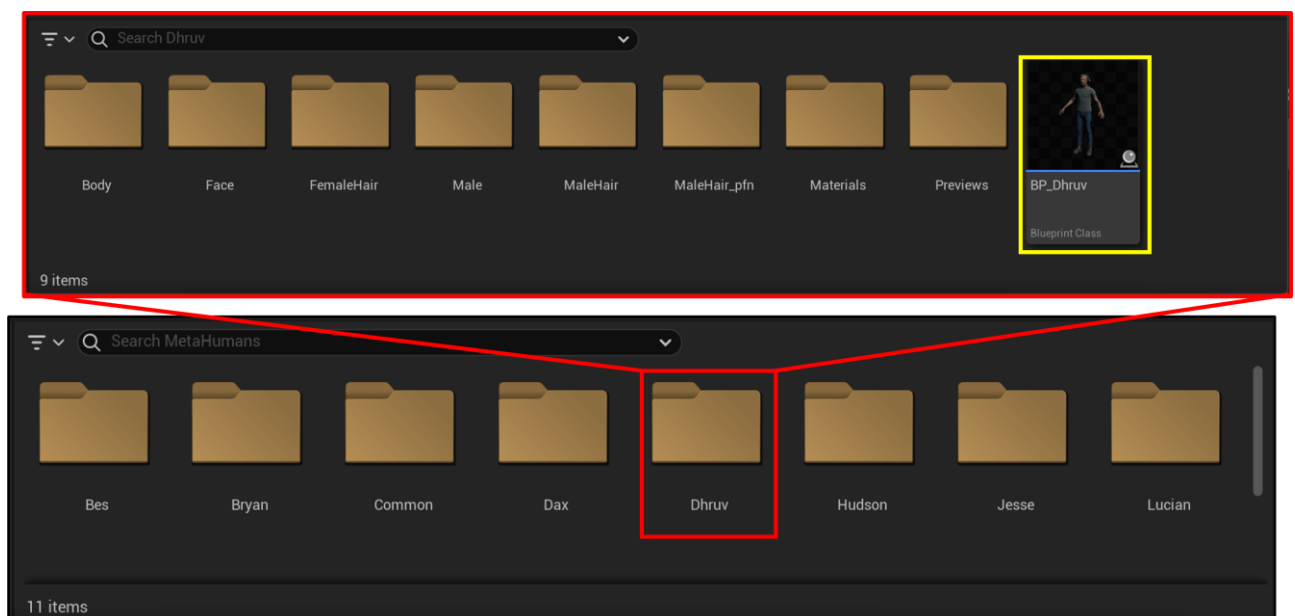


Figura 3-76 Carpeta “*MetaHumans*” de la biblioteca de actores. (Autoridad propia)

4 RESULTADOS

4.1 Descripción del apartado

En este apartado se presentarán resultados frutos del desarrollo de este proyecto. Debido a la naturaleza del mismo, los resultados en general se presentarán como imágenes o, en su caso, vídeos, del escenario creado, facilitando así la visualización del resultado para el lector. Así, en los subapartados siguientes se presentan dichos resultados desglosados de forma equivalente a la descripción del desarrollo del trabajo, permitiendo observar la evolución del escenario de forma progresiva.

4.2 Escenario

Referido a la selección del escenario, se ha buscado un terreno reconocible por los alumnos de Infantería de Marina de la ENM, que serán los usuarios de este método de adiestramiento. Un escenario que permita la práctica de todas las técnicas, tácticas y procedimientos (TTPs) de las operaciones MOUT (diversos cruces, giros, progresiones por exteriores e interiores, entrada en edificios y habitaciones, coordinación entre EF, pelotones, secciones), que tenga variedad de edificio y zonas urbanas (distintos pisos, una o varias puertas, varias ventanas, distintos pasillos, sótanos, habitaciones vacías y otras amuebladas, escaleras) y de dimensiones suficientes como para dar cabida a unidades de entidad mínima compañía. PICOZU (Polígono de Instrucción de Combate en Zonas Urbanas).

Dentro de la Base General Morillo de la BRILAT (ET), ofrece estas prestaciones y cubre de sobremanera con las necesidades de la CIA de alumnos de IM de la Escuela Naval Militar, haciéndole ideal para recrear como escenario de combate en este tipo de adiestramiento hablado.

Además, el diseño se ha hecho buscando simular un poblado afgano, buscando recrear PICOZU con la mayor fidelidad posible y añadiéndole a mayores elementos que sumen en realismo y contribuyan a la inmersión del jugador: rocas, vegetación, enseres, material militar e industrial. Se han considerado diferentes situaciones que el combatiente se puede encontrar en este tipo de escenario, valorando nivel de dificultad, existencia de diversos actores y condiciones de visibilidad, entre otras consideraciones.

4.3 Diseño y modelado

Como resultado del diseño y modelado del proyecto, se ha obtenido la recreación del polígono de instrucción seleccionado. Esta recreación se ha mantenido bastante fiel tanto al proceso explicado durante el desarrollo del trabajo como al verdadero poblado afgano, con sus dimensiones exactas, edificios idénticos distribuidos de manera análoga, mismas calles y relieve y vegetación similar. De la implementación de elementos 3D se ha conseguido el realismo buscado, dándole vida al escenario y consiguiendo alcanzar una inmersión completa por parte del usuario. Por otro lado, se ha alcanzado una

óptima calidad del escenario en general, las características de luminosidad esperadas y las físicas de los elementos son adecuadas a cada uno de ellos.

4.3.1 Diseño básico del terreno

El *landscape material* seleccionado ha resultado adecuado para el escenario, habiendo permitido al diseñador jugar con los distintos grupos de materiales de los que disponía, consiguiéndose un terreno irregular y con variedad cromática, lo que le aporta realismo suficiente a la base del nivel. En las imágenes de la Figura 4-1 se puede observar lo referido del material de paisaje de distintas zonas y distintos grupos de materiales entremezclados.

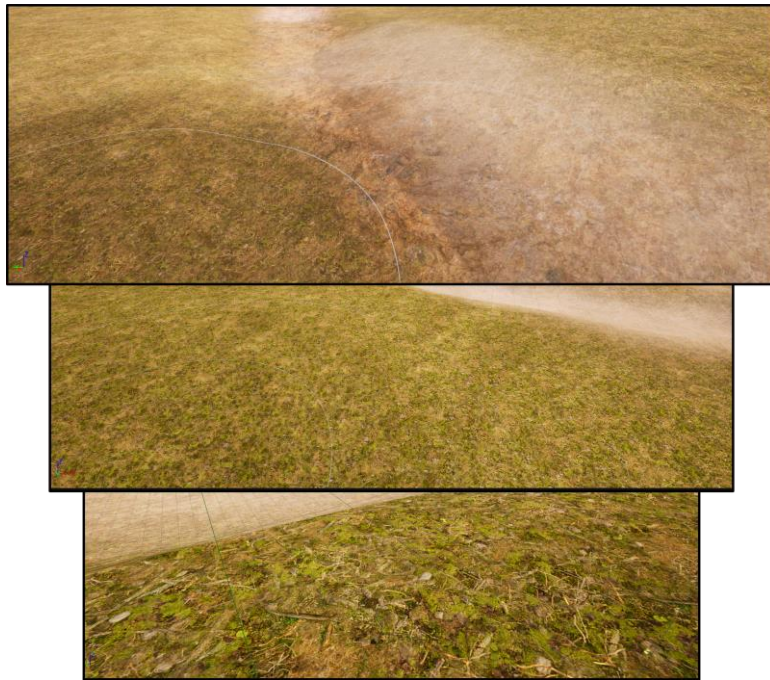


Figura 4-1 *Landscape Material*. (Autoría propia)

Asimismo, el lago añadido decora el paisaje de fondo del poblado, y al igual que las montañas, ayuda a hacer creer al usuario que terreno se extiende mucho más allá, dándole la sensación de profundidad buscada. La luminosidad generó el efecto de atardecer buscado, con colores anaranjados y cálidos, luces saturadas que crean intensas sombras. Estos resultados mencionados se aprecian claramente en la Figura 4-2, que es una imagen general del nivel *open world* con los ajustes de luminosidad cambiados, el lago añadido y el material de paisaje aplicado al terreno.

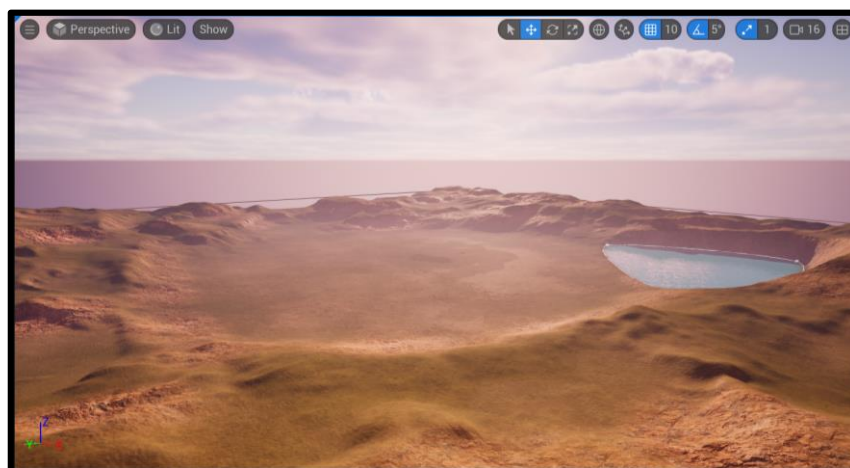


Figura 4-2 Diseño inicial escenario. (Autoría propia)

4.3.2 Construcción e importación de edificios

Mediante el uso del software *Inventor Pro* se ha conseguido replicar a la perfección los edificios del poblado a partir de los planos del Anexo III: Planos PICOZU base General Morillo. Los pasillos, las puertas y las ventanas garantizan que el adiestramiento en realidad virtual será paralelo al adiestramiento in situ de los alumnos. Las estructuras se han numerado del 1 al 7, que es el número de tipos distintos de ellas, para diseñarlas e importarlas en *Unreal*, mostrándose las estructuras tipo 3 y 7 en la Figura 4-3. Los planos de cada una de estas están contenidos en el Anexo IV: Planos INVENTOR edificios escenario, con todas las especificaciones pertinentes para cada tipo de estructura de los 7 distintos que componen el poblado completo.

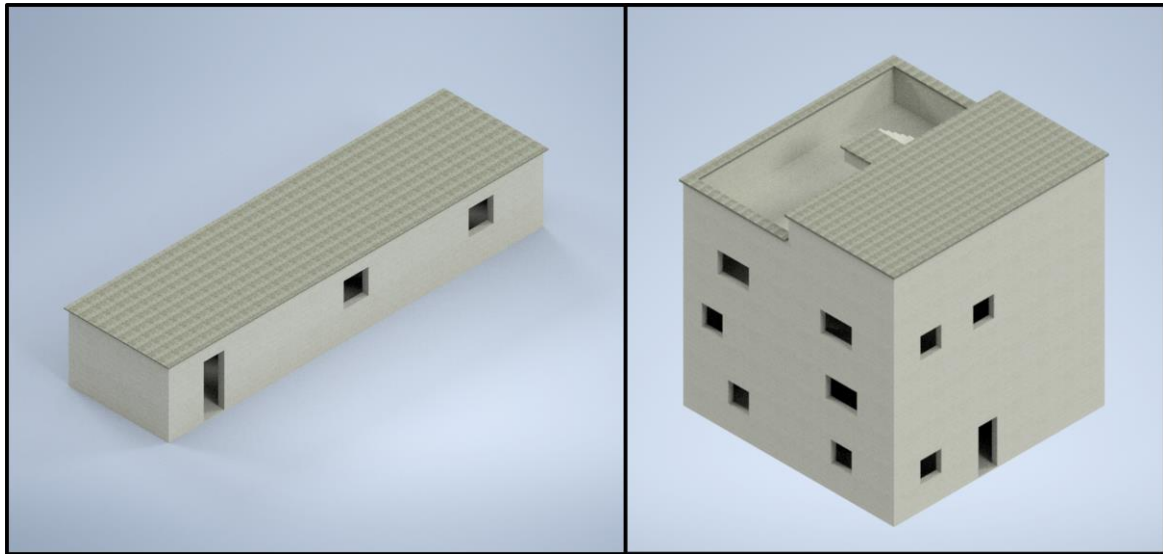


Figura 4-3 Estructuras tipo 3 y 7 en *Inventor*. (Autoría propia)

Al añadir estas piezas al proyecto de *Unreal* en formato (.glb) se ha importado únicamente la geometría y las físicas, como se mencionó en el desarrollo. Aplicando un material a los edificios una vez introducidos en el proyecto se buscaba proporcionarles ese realismo que *Inventor* era incapaz de aportar. Con los materiales aplicados mencionados en el apartado de Desarrollo se ha conseguido asemejar las edificaciones a las reales, dando la sensación de edificios reales gracias a las irregularidades, texturas y calidad que les han proporcionado los distintos materiales elegidos. Ejemplo de ello sería el edificio 3 presentado en la Figura 4-4, ya dentro del software de *Unreal* y con los materiales seleccionados al techo, paredes y suelo.



Figura 4-4 Estructura tipo 3 importada en *Unreal*. (Autoría propia)

Con todos los edificios ya importados, se tenían que añadir al escenario. Para ello se hizo uso también de los planos del anexo mencionado previamente apoyados en *Google Earth Pro*, consiguiéndose así una distribución idéntica a la de PICOZU en el presente proyecto. Resultado de distribuir los 7 tipos de estructuras en el terreno son las imágenes de la Figura 4-5.



Figura 4-5 Edificios distribuidos en el terreno. (Autoría propia)

La correcta distribución replicando el poblado real garantiza mismo tamaño de calles, igual distancia entre distintos edificios y tamaño similar del poblado completo, aspectos importantes para que el mismo adiestramiento sea replicable en un sitio y en otro. Como resultado de repartir los 57 edificios totales del escenario por el terreno será la imagen aérea de la Figura 4-6, que representa la distribución general del proyecto.



Figura 4-6 Distribución aérea de edificios en el escenario. (Autoría propia)

4.3.3 Modelado del terreno y el poblado

Del modelado del terreno mediante el modo paisaje se ha perfilado el terreno del escenario y los caminos. Este no es un factor clave en el adiestramiento de los combatientes, por lo que no se ha buscado replicarlo, sino que se han tenido en cuenta cotas clave, con buenos campos de tiro y cubierta, así como caídas pronunciadas del terreno que suponen una desventaja para el atacante, y los caminos principales que atraviesan y rodean el poblado. Resultado de estas consideraciones surge el escenario mostrado en las imágenes de la Figura 4-7.



Figura 4-7 Relieve y caminos del terreno. (Autoría propia)

Con respecto al terreno se han cumplido las expectativas, incluyendo irregularidades en el terreno, puntos clave, caminos de tierra y terreno escarpado en aquellas zonas de mayor pendiente. La Figura 4-8 es un claro ejemplo de ello.



Figura 4-8 Vista periférica del modelado del escenario. (Autoría propia)

Como resultado del empleo del *foliage mode* se ha poblado todo el nivel de vegetación, incluyendo hierba, árboles, helechos y matorros bajos. Como se mencionó en el Desarrollo, la vegetación, al igual que el relieve, no es un aspecto determinante del escenario de combate, por lo que no se ha reproducido con exactitud. Con la vegetación y la flora lo que se buscaba era añadir mayor realismo al terreno, teniendo en cuenta las zonas más frondosas de PICOZU y alrededores, ajustando parámetros del movimiento por el viento, la variedad cromática, la escala y la aspereza para contribuir a la inmersión completa del usuario. Una vista global de toda la vegetación añadida en el escenario se refleja en la Figura 4-9.



Figura 4-9 Vegetación del escenario. (Autoría propia)

Haciendo zoom en el poblado y los alrededores de este, se pueden apreciar mejor los resultados del empleo del modo follaje, viendo más en detalle árboles, hierba y vegetación baja en general, como muestran las imágenes de la Figura 4-10.



Figura 4-10 Árboles y vegetación baja en detalle. (Autoría propia)

El modelado del terreno estaría finalizado a falta de detalles de realismo en el interior del poblado e incluir todo tipo de elementos 3D (rocas, enseres, material militar e industrial) tanto en el exterior como en el interior de los edificios.

Esto es lo que ha conseguido proporcionarle vida al poblado y, a pesar de que en la realidad las edificaciones están vacías, permiten la inmersión completa del combatiente en un poblado afgano con objetos cotidianos, cajas de munición, sacos terreros, depósitos de agua y cajas eléctricas, entre otros. Producto de incluir estos objetos 3D y depurar detalles en el interior del polígono de instrucción surgen las imágenes de la Figura 4-11 y la Figura 4-12.



Figura 4-11 Escenario con objetos 3D importados y añadidos. (Autoría propia)



Figura 4-12 Zonas del poblado con objetos 3D incluidos. (Autoría propia)

Al igual que se han añadido estos elementos en el exterior de los edificios, por todo el poblado y en las proximidades de los caminos, también se han incluido en el interior de edificios, en habitaciones, por los pasillos, en escaleras y en tejados. Resultado de ello son los ejemplos de la Figura 4-13 de algunas de las casas del escenario.



Figura 4-13 Realismo en el interior de los edificios. (Autoría propia)

4.4 Bibliotecas

4.4.1 Biblioteca de armamento

Resultado de la creación de las dos bibliotecas mencionadas en Desarrollo serían por un lado las armas orgánicas de la BRIMAR que serán empleadas por los combatientes en el adiestramiento en el escenario de combate y cuyas similitudes con las reales son notables. Estas aparecen añadidas al escenario en la Figura 4-14.

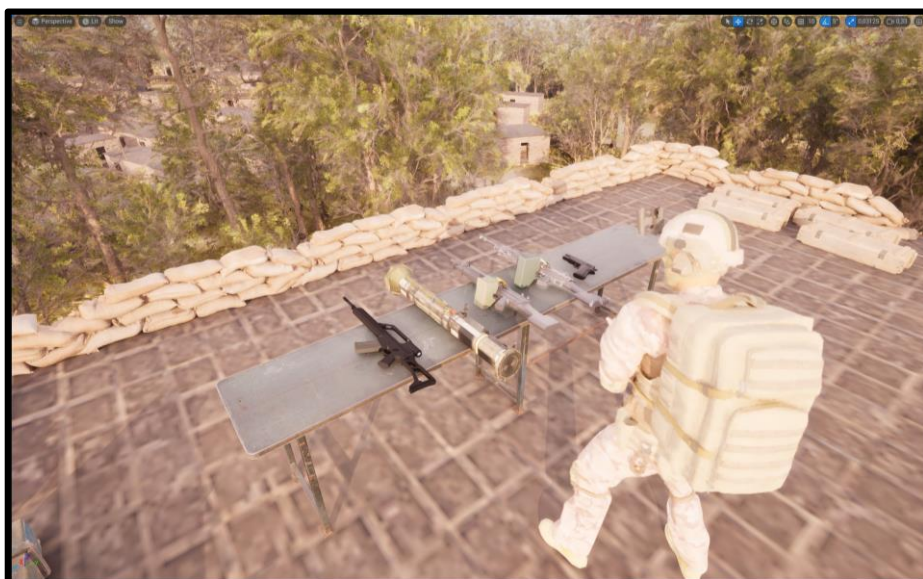


Figura 4-14 Armamento orgánico de la BRIMAR. (Autoría propia)

En las imágenes de la Figura 4-14: en la esquina superior izquierda el fusil de asalto HK-G36E; en la esquina superior derecha la pistola FN P9 17; en la esquina inferior izquierda el sistema de arma C-90; en la esquina inferior derecha la ametralladora MINIMI ligera; en el centro la ametralladora MINIMI media.

El fusil de asalto HK-G36E, cuyas características técnicas y empleo se han descrito en el apartado de Biblioteca de armamento, se ha importado desde *Sketchfab* con una serie de modificaciones para obtener el resultado deseado. En primer lugar, se ha corregido la escala, aplicando un factor de reducción de 0,01 en la ventana de importación de elementos. De todos los *meshes* que se han importado en el archivo descargado, se ha usado el *skeletal mesh* para crear un *blueprint* del fusil, ubicando el origen de coordenadas del mismo donde refleja la Figura 4-15. En este mismo *blueprint* se ha escalado nuevamente hasta conseguir la longitud correspondiente al fusil real de 1 metro, y consiguiéndose la escala correcta del resto de parte consecuentemente por proporcionalidad. Será empleado por todo militar que haga uso del simulador de combate, siendo imprescindible el adiestramiento de cada combatiente en esta arma individual de la Infantería de Marina.



Figura 4-15 Fusil HK-G36E. (Autoría propia)

La pistola FN P9 17, que, al igual que el fusil de asalto, ya ha sido descrita en el apartado previo, se ha importado desde *Sketchfab* separada en sus distintas partes como *static meshes*. Se ha creado un *blueprint* donde se han combinado todas las piezas respecto al mismo origen de coordenadas, obteniendo el resultado final con su origen mostrada en la Figura 4-16. Arma corta de reducido alcance cuyo cometido principal es abatir enemigos cercanos y frenar su avance. Todo oficial de IM debe tener un profundo adiestramiento en esta arma y desarrollar una gran capacidad de reacción para hacer frente a amenazas inesperadas.

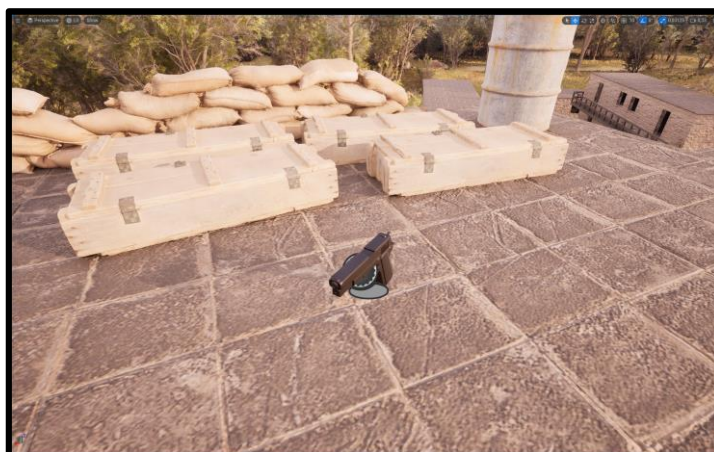


Figura 4-16 Pistola FN P9 17. (Autoría propia)

La ametralladora ligera FN MINIMI de calibre 5,56 mm ha sido explicado ya en el apartado de Biblioteca de armamento. Al importarse desde *sketchfab* se han incluido sus diferentes piezas sin material en la carpeta de armamento. Como resultado de combinarlas en un mismo *blueprint* respecto al mismo origen de coordenadas y aplicarle materiales y texturas provenientes del *starter content*, sin necesidad de escalarla, se ha obtenido el arma presentada en la Figura 4-17. La AML (Ametralladora Ligera) es un arma colectiva del pelotón de fusiles de la BRIMAR, en la cual están especializados dos soldados por pelotón, uno de cada equipo de fuego. Estos combatientes se deberán adiestrar en el simulado, haciendo uso de ella contra vehículos y carros, agrupaciones enemigas y para generar barreras de fuego.



Figura 4-17 Ametralladora ligera FN MINIMI. (Autoría propia)

Su variante de mayor calibre, la ametralladora media FN MINIMI, del 7,76 mm posee unas características similares a la anterior, como se expuso en el desarrollo. Al importarse desde *sketchfab*, se obtuvo un *static mesh* con materiales y texturas aplicadas, que se añadió a un *blueprint* donde se escaló a una longitud de aproximadamente 1 metro, para obtener como resultado la imagen de la Figura 4-18. Al igual que la AML, la AMM (Ametralladora Media) es empleado por soldados especializados en esta arma, en este caso pertenecientes a la sección de armas de una compañía de IM. Este personal debe estar altamente adiestrado en este calibre, y saber emplearla contra vehículos blindados y como arma esencialmente contra material.

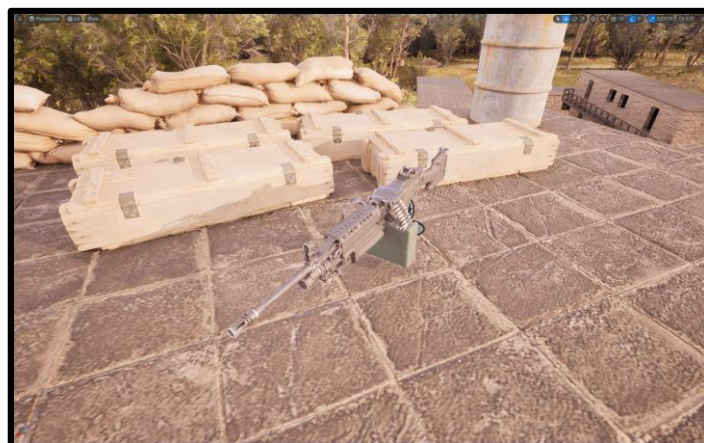


Figura 4-18 Ametralladora media FN MINIMI. (Autoría propia)

Finalmente, el sistema de arma C-90, de 90 mm de calibre, tiene una serie de especificaciones que al igual que el resto de armamento han sido descritas en el apartado previo de desarrollo. Al *static mesh* importado desde *sketchfab* se le ha aplicado un factor de aumento de 100, para posteriormente crear un *blueprint* con este *mesh* y escalarlo al tamaño real de 1 metro de longitud, para finalmente centrar el tubo

lanzador en el centro del origen de coordenadas. El resultado se muestra en la Figura 4-19. Análogamente a la AML, orgánicamente el pelotón posee dos lanzadores de C-90, uno por equipo de fuego. El personal lanzador debe estar altamente adiestrado en el uso de este sistema contra-carro, antibúnker y fumígeno, entre otras, ya que es el arma orgánica de mayor potencia de fuego. Además, el simulador de combate permitirá a los combatientes instruirse en el complejo uso de esta arma contra-carro en ambiente urbano.



Figura 4-19 Sistema de arma C-90. (Autoría propia)

4.4.2 Biblioteca de actores

Producto de elaborar la biblioteca de actores se tendrá a disposición del diseñador una gran variedad de combinaciones de enemigos con distinto equipamiento y uniformidades, además de la posibilidad de crear civiles de distintas etnias, género y edades que añadir posteriormente al escenario. Reflejo de esto es el combatiente incluido en el terreno como *blueprint* de la Figura 4-20, o el que se muestra en la Figura 4-14.



Figura 4-20 Enemigo ubicado en las calles del escenario. (Autoría propia)

Las posibilidades de equipo y uniformidad que pueden portar los combatientes del escenario se muestran más en detalle en la Figura 4-21, que, junto con la opción de cambiarles el color de la piel y los rasgos, permite incluir gran variedad de enemigos distintos entre ellos.



Figura 4-21 Nivel “CustomizationMP” del módulo de soldados. (Autoría propia)

De manera más visual, se muestra en la imagen de la Figura 4-22 distintos ejemplos de combatientes añadidos al escenario de PICOZU, producto de editar las distintas prendas y equipo del soldado, además de su color de piel y sus rasgos como se ha mencionado.

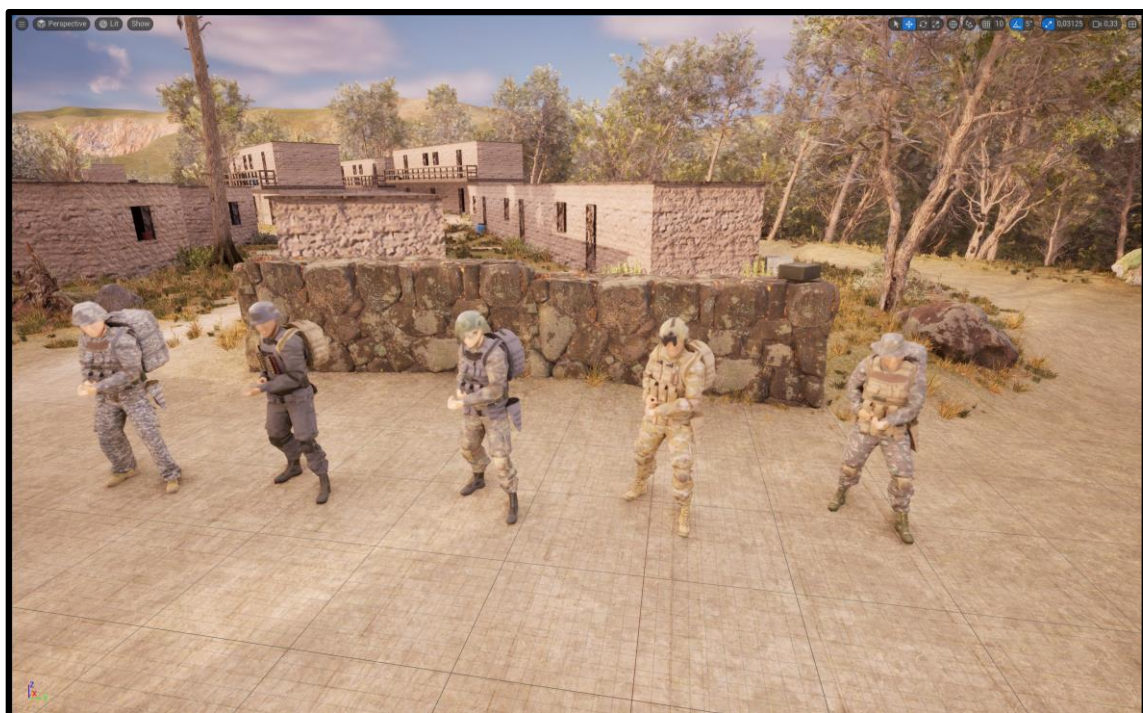


Figura 4-22 Nivel "ExamplesMP" del módulo de soldados. (Autoría propia)

Los personajes importados desde MHC harán la función de civiles, imprescindibles para un ambiente asimétrico. Para ello se han incluido un total de once distintos, de distintas edades, género y

características físicas (barba, pelo, ojos, altura, constitución). El *blueprint* principal de cada personaje contiene las ventanas reflejadas en el ejemplo de *Dhruv*, en la Figura 4-23. Una pestaña con las distintas funciones que definen al personaje, un gráfico de eventos programados que incluye los movimientos básicos y la que se muestra en la imagen, una ventana de visualización del metahumano.

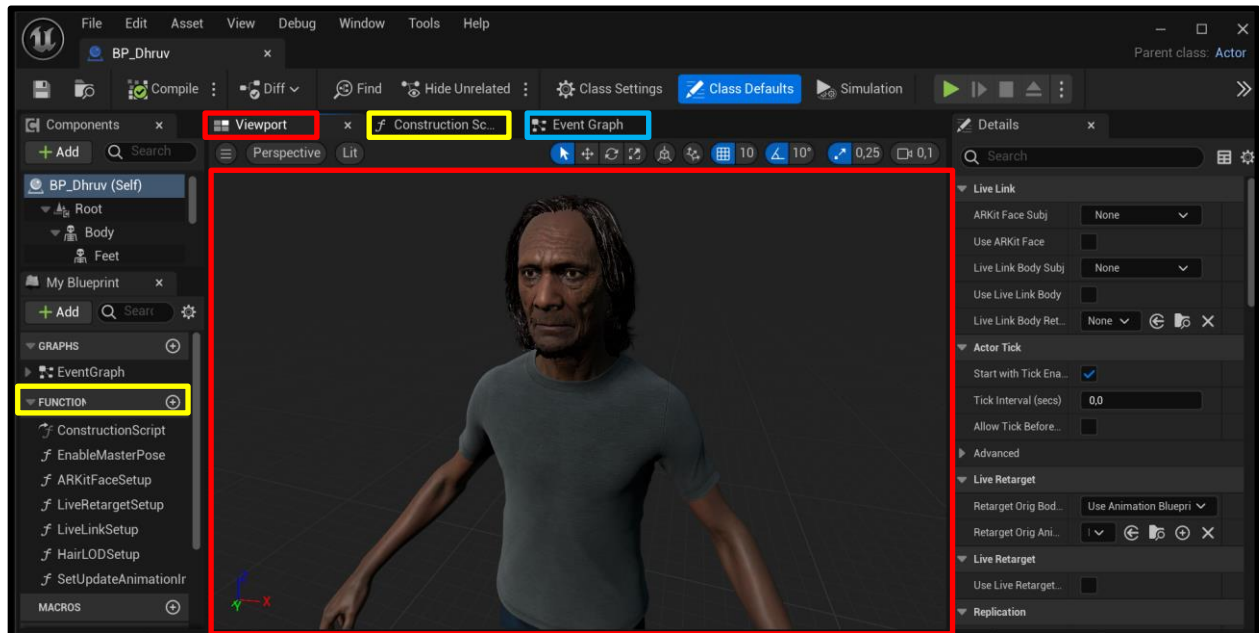


Figura 4-23 Personaje *Dhruv* importado desde MHC. (Autoría propia)

Como este personaje se han incluido otros diez más. La razón de este número es simplemente simbólica en representación de la entidad de la unidad mínima para llevar a cabo operaciones MOUT, 11 pax. Varios ejemplos se muestran en las imágenes de la Figura 4-24: *Bes*, *Hudson*, *Lucian* y *Malika*.



Figura 4-24 Metahumanos importados en el proyecto. (Autoría propia)

En este caso, se han aprovechado una serie de personajes por defecto ya que eran adecuados para el tipo de escenario diseñado y, por tanto, para el proyecto. Se han seleccionado en base a posibles habitantes de un poblado de Afganistán, y algunos de ellos se han incluido en el escenario como se aprecia en la Figura 4-25.

No obstante, como se ha mencionado en el apartado de desarrollo, MHC ofrece las herramientas para diseñar un metahumano a gusto personal: sus rasgos, color de piel, pelo, edad, altura o constitución.



Figura 4-25 Civiles en el escenario de PICOZU. (Autoría propia)

4.5 Video explicativo

En vista de los anteriores apartados, ya ha quedado claro que es un trabajo puramente visual. Por lo tanto, como producto global de todo el escenario y a modo resumen, se ha generado una grabación audiovisual con libertad movimiento para mostrar de manera más explícita los apartados trabajados durante el desarrollo del proyecto y reflejados en los resultados. En la Figura 4-26 se muestra la portada de este vídeo, que se ha dividido en 3 secciones: la zona urbana del escenario, con una pequeña muestra del poblado afgano; las bibliotecas de armamento y actores generadas, con su ubicación en las carpetas; y una panorámica general de todo el terreno de combate.



Figura 4-26 Portada vídeo explicativo PICOZU. (Autoría propia)

Las herramientas empleadas en su elaboración han sido: *OBS Studios* (*Open Broadcaster Software*), que es un software empleado para grabación de vídeo y retransmisión en directo; y *Clipchamp*, que es un editor de trabajos audiovisuales online de uso libre. Estos softwares se aprecian en la Figura 4-27.



Figura 4-27 *OBS Studios, Clipchamp y QR Code Generator* respectivamente. (Autoría propia)

A través de *Clipchamp*, el video se ha subido a un canal de youtube privado, y mediante la página *QR Code Generator* (Figura 4-27), se ha generado el código QR de la Figura 4-28 que proporciona acceso al proyecto audiovisual escaneándolo o pinchando en él.

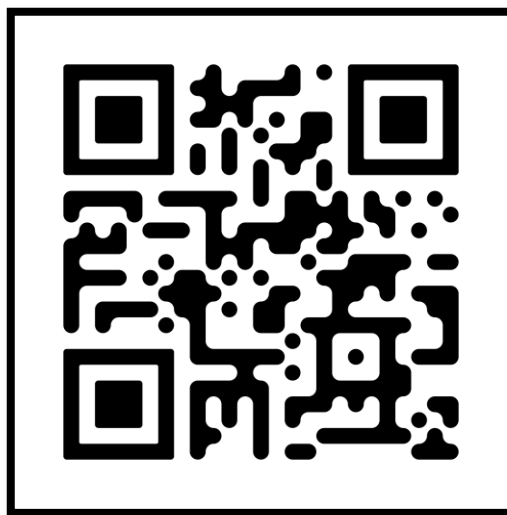


Figura 4-28 Código QR de vídeo “Escenario de combate PICOZU”. (Autoría propia)

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Descripción del apartado

En el presente apartado se expondrán y razonarán las conclusiones obtenidas a lo largo del proyecto desglosadas por apartado, finalizando con una conclusión general que declare el cumplimiento o no cumplimiento de los objetivos fijados al inicio del trabajo. Asimismo, se tratará sobre el posible futuro del trabajo y sus líneas futuras en la que se podrá seguir trabajando para alcanzar una aplicación del mismo tanto a corto como a largo plazo.

5.2 Conclusiones

5.2.1 Conclusiones previas

El trabajo se ha dividido en tres partes fundamentales, de las que se va a comentar lo concluido de cada una de ellas: el escenario, el diseño y modelado y la conectividad.

5.2.1.1 El escenario

La selección del escenario de combate y sus objetivos surgieron de la necesidad de implementación de un simulador de realidad virtual en la Escuela Naval Militar que complementará el adiestramiento del alumno de Infantería de Marina en el ámbito de operaciones MOUT (*Military Operations in Urban Terrain*). Además de poder hacer extensivo el uso de este simulador de combate al resto de las FFAA que actualmente carece de uno, y contribuiría de sobremanera a la instrucción del combatiente en el ámbito de combate en zona urbana. El escenario elegido para ser recreado cumple con las prestaciones requeridas por un simulador de combate del alcance buscado, ya que PICOZU (Polígono de Instrucción de Combate en Zona Urbana), en la base General Morillo de la BRILAT (ET), permite la práctica de las técnicas, tácticas y procedimientos (TTPs) en las que un combatiente debe estar instruido para realizar operaciones MOUT. Además, asegura la posibilidad de realizar paralelamente el adiestramiento del alumno en el simulador y en el terreno dónde semanalmente se llevan a cabo sus prácticas de Instrucción y Adiestramiento (I+A).

A partir de la selección de este escenario, todo el proyecto ha buscado reproducir con la mayor fidelidad y detalle posible el poblado de PICOZU para generar una sensación de realismo y garantizar una inmersión completa por parte del alumno, siendo la finalidad de todas las fases del trabajo.

5.2.1.2 Diseño y modelado

La estructuración del diseño y modelado del escenario ha supuesto un acierto a la hora de realizarlo, ahorrando tiempo y garantizando un trabajo efectivo. La idea general ha sido dividir el proyecto en hitos en los que centrarse de todo el escenario, en lugar de dividir el escenario en distintas partes en las que centrarse hasta terminarlas. De esta manera se ha comenzado con una base para todo el poblado, seguido

de los edificios, el relieve del terreno y los caminos, la vegetación y finalizar con detalles más pequeños de realismo y elementos de ambiente en todo el poblado. Esto ha permitido ganar soltura en las herramientas ofrecidas por el motor de juego, y no dejar de trabajar en esa herramienta hasta haber finalizado ese aspecto del escenario.

El adiestramiento real complementado con el virtual era uno de objetivos buscados, de ahí la importación de replicar PICOZU en el diseño de todo el poblado de la simulación. Se ha conseguido recrear los edificios, su distribución, las calles y los puntos clave del terreno, de manera que los factores determinantes en el combate en población se pueden considerar análogos a los del polígono de instrucción de la BRILAT.

Por último, la mayor parte de elementos incluidos en el escenario son propios del software de *Unreal*, ya sea de la *Epic Games Store* o de *Quixel Bridge*, reduciendo el uso de recursos externos, asegurando la calidad de los elementos que se añaden al proyecto y, por tanto, mejorando la experiencia de uso de este.

5.2.1.3 Bibliotecas

La función de crear estas bibliotecas era proporcionar al proyecto el material necesario para, a partir del escenario de combate creado, crear un simulador virtual que deba incluir, además del terreno adecuado, enemigos, población y armamento que optimicen el adiestramiento de cualquier combatiente.

El alumno debe saber reconocer la amenaza, tener con qué abatirla y acabar con ella, y sin la biblioteca creada esto no sería posible.

Se han añadido adecuadamente una serie de sistemas de armas que se corresponden con las armas orgánicas de la BRIMAR que se emplean en los entrenamientos en el terreno, listas para ser programadas y hacer uso de ellas.

Por otro lado, se ha conseguido ofrecer la posibilidad de ubicar en el escenario diferentes actores, todos distintos entre ellos, que le obligue al usuario del simulador a discernir entre enemigos, aliados y civiles que pueblan el mismo.

5.2.2 Conclusión final

Con todo lo expuesto anteriormente, se puede llegar a la conclusión de que los objetivos establecidos al principio del proyecto se han cumplido con creces. Se ha diseñado el escenario de un simulador de combate que será empleado mediante la realidad virtual para complementar el adiestramiento de los oficiales alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar. No solo por la ENM, sino que podrá apoyar la instrucción en toda la institución que es la Armada, ya que se ha comprobado que es un recurso útil y necesario, más aún con el desarrollo actual debido a las aportaciones de la i4.0 al ámbito militar.

Como segundo objetivo, se ha conseguido un modelado realista del poblado afgano PICOZU del ET, replicando los aspectos claves para garantizar el adiestramiento paralelo de los alumnos que hacen uso de la BRILAT. Los materiales elegidos cuidadosamente, la vegetación añadida, las irregularidades que contiene el terreno, los elementos 3D incorporados al proyecto y los aspectos generales del escenario editados propician una inmersión plena en el simulador de realidad virtual.

Todo esto gracias a la explotación de las herramientas ofrecidas por el motor de juego *Unreal* y el aprovechamiento de todos los recursos de los que se disponía.

Por otro lado, se han cumplido los objetivos secundarios del TFG, proporcionando una guía para futuros trabajos relacionados, se pueda emplear como herramienta de aprendizaje y permita la resolución de problemas en proyectos de este ámbito.

Concluido el proyecto, se puede determinar que el desarrollo de entornos virtuales para la instrucción del combatiente en diversos teatros es un bien necesario para que las FFAA españolas se

adapten a lo que está por venir debido a la evolución que conlleva la industria 4.0, logrando así un adiestramiento de elevada calidad y bajo coste.

5.3 Líneas futuras

Para finalizar, en este subapartado se comenta las posibles aplicaciones que tendrá el presente trabajo y el futuro que le depara.

5.3.1 A corto plazo

Lo primero sería implementar lo necesario para completar el simulador de realidad virtual que permita el adiestramiento de combatientes en él. Añadir los enemigos y actores de la biblioteca y el armamento y programarlos mediante los *blueprints* que ofrece el software de *Unreal Engine*. Implementar un código en el proyecto que permita la práctica de diversas situaciones reales mediante la simulación, con escalabilidad en niveles y dificultad, permitiendo el adiestramiento de los usuarios en diferentes ejercicios de MOUT que se ajusten a los teatros de operaciones actuales. Mediante esa programación que se implemente, lograr un funcionamiento lo más fluido posible y conseguir introducir IA, haciendo del simulador un entorno atractivo, útil y progresivo.

De manera secundaria, conseguir desarrollar las líneas expuestas a continuación:

- Diseño de nuevos niveles aprovechando las herramientas de *Unreal Engine*, añadiendo nuevas dificultades, elementos y situaciones en cada uno de ellos, para conseguir, por ejemplo, adiestramiento en condiciones de visibilidad reducida, ya sea en ambiente nocturno o diurno, por parte del combatiente.
- Incorporar mediante programación el modo multijugador, logrando el uso simultáneo del simulador por varios alumnos. Los conflictos no los gana un solo hombre, y eso debe calar en los oficiales alumnos, pero más aun, entrenar. Por ello, el adiestramiento de entidad binomio, equipo de fuego, pelotón, etc, se deberá reproducir también en el ámbito virtual.
- Hacer de este simulador una parte importante de la instrucción de los alumnos de IM de la Escuela Naval Militar, incluyéndolo en su plan de Instrucción y Adiestramiento (I+A), paralelo al llevado a cabo semanalmente en prácticas de campo.

5.3.2 A largo plazo

Tal y como se ha hablado de asentar este simulador en el adiestramiento de los futuros oficiales, también se deben ampliar las fronteras de la Armada y expandir el empleo de las tecnologías de la industria 4.0 a otros ámbitos, y tener presente de manera más notable la realidad virtual, aumentada o mixta en el ámbito bélico.

La existencia de los simuladores en las FFAA es algo relativamente reciente, pero a vista futuro este tipo realidades aplicadas a la simulación de múltiples sistemas, entrenamientos y planeamientos de operaciones a gran escala no sería algo tan desmedido, y supondría un plus en la calidad de adiestramientos y ensayos previos a operaciones.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Raissa, «La evolución de la Industria: entienda el impacto de la Industria 4.0», ROMI S.A. Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.romi.com/es/la-evolucion-de-la-industria-entienda-el-impacto-de-la-industria-4-0/>
- [2] «Industria 4.0: la transformación digital de la industria | Revista Ingeniería». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://revistaingenieria.deusto.es/industria-4-0-la-transformacion-digital-de-la-industria/>
- [3] «Industria 4.0: la 4ta Revolución Industrial - Eviciti». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eviciti.com.mx/blog-post/bienvenido-a-la-industria-4-0-la-cuarta-revolucion-industrial/>
- [4] Lucia, «MIM Administration • La industria 4.0», MIM Administration. Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mimadministration.com/la-industria-4-0/>
- [5] R. D. InfoDefensa, «La transformación digital y el sostenimiento 4.0 en la Armada», Infodefensa - Noticias de defensa, industria, seguridad, armamento, ejércitos y tecnología de la defensa. Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3118233/transformacion-digital-sostenimiento-40-armada>
- [6] A. V. Sales, «ENSEÑANZA NAVAL Y ENTORNO 4.0», Armada española. Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2018/08/rgm080918cap14.pdf>
- [7] «Actos VIII Semana Naval - Especiales - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenos/especiales/prefLang-es/04semana-naval-madrid--01-VIII-Semana-Naval-Madrid-2018--01actossemananaval>
- [8] «Portal de Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa», Gobierno de España - Ministerio de Defensa. Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Paginas/Inicio.aspx>
- [9] «Estrategia de tecnología e innovación para la Defensa ETID - 2020», Castellano. Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://publicaciones.defensa.gob.es/estrategia-de-tecnologia-e-innovacion-para-la-defensa-etid-2020-libros-pdf.html>
- [10] «D-RIM-321_EL BATALLÓN DE DESEMBARCO», Cap.8, Scc.0802, Ministerio de Defensa de España. Accedido: 27 de febrero de 2024. Disponible en:

- <https://campus.defensa.gob.es/admin/tool/policy/view.php?versionid=1&returnurl=https%3A%2F%2Fcampus.defensa.gob.es%2Flogin%2Findex.php>
- [11] «D-RIM-351_EL PELOTÓN DE FUSILES», Cap.8, Scc.1, Ministerio de Defensa de España. Accedido: 27 de febrero de 2024. Disponible en: <https://campus.defensa.gob.es/admin/tool/policy/view.php?versionid=1&returnurl=https%3A%2F%2Fcampus.defensa.gob.es%2Flogin%2Findex.php>
- [12] «POV 010- PROCEDIMIENTOS MOUT CIA ALUMNOS», Ministerio de Defensa de España. Accedido: 27 de febrero de 2024. Disponible en: <https://campus.defensa.gob.es/admin/tool/policy/view.php?versionid=1&returnurl=https%3A%2F%2Fcampus.defensa.gob.es%2Flogin%2Findex.php>
- [13] J. M. A. Plana, Comandante Auditor del Cuerpo Jurídico Militar, Doctor en Derecho, «Reglas de enfrentamiento y gobierno del campo de agramante», Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE), 2015, Ministerio de Defensa. Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://revista.ieee.es/article/view/277>
- [14] «Las Reglas de Enfrentamiento (ROE)», 2012. Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.defensa.gob.es/portaldecultura/Galerias/actividades/fichero/2012_PreDefQuerolyLombardero_Las_ROExs
- [15] Ministerio de Defensa, *Orden DEF/3217/2011, de 18 de noviembre, por la que se regula el Registro de Asociaciones Profesionales de miembros de las Fuerzas Armadas*, vol. BOE-A-2011-18528. 2011, pp. 125448-125459. Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/o/2011/11/18/def3217>
- [16] «BOE-A-2006-7319 Ley 8/2006, de 24 de abril, de Tropa y Marinería.» Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-7319&p=20201231&tn=2>
- [17] Calm. Carlos De Izcue Arnillas, C. de N. Andrés Arriarán Shaffer, C. de N. Yuri Tolmos Mantilla, «LAS NORMAS DE COMPORTAMIENTO Y LAS REGLAS DE ENFRENTAMIENTO», Cap.19, Repositorio ESUP. Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en : <https://repositorio.esup.edu.pe/bitstream/20.500.12927/157/24/Cap.19>
- [18] P. por J. U. V, «Los Principios del Uso Progresivo de la Fuerza». Accedido: 22 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://usoprogresivodelafuerza.blogspot.com/2012/07/principios-del-uso-de-la-fuerza-la.html>
- [19] «Capacidades tecnológicas de la simulación militar», Hispaviación. Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.hispaviacion.es/capacidades-tecnologicas-la-simulacion-militar/>
- [20] J. L. G. Benavides, «Artículos | La simulación militar en España (I)», Revista Ejércitos. Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistaejercitos.com/articulos/la-simulacion-militar-en-espana-i-el-ejercito-de-tierra/>
- [21] «NPS Wargaming Center - Naval Warfare Studies Institute - Naval Postgraduate School». Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://nps.edu/web/nwsi/nps-wargaming-center>
- [22] «World Military Simulation and Virtual Training Market Report 2022-2030 Featuring Leading Players - CAE, Cubic Corp, Northrop Grumman, Lockheed Martin, Raytheon Co, Rheinmetall, & Leonardo», Yahoo Finance. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://finance.yahoo.com/news/world-military-simulation-virtual-training-122800845.html>
- [23] R. C. Computing, «La realidad virtual aplicada al entrenamiento militar», Revista Cloud Computing. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en:

- <https://www.revistacloudcomputing.com/2021/11/la-realidad-virtual-aplicada-al-entrenamiento-militar/>
- [24] «Entrenamiento y Simulación», Start. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.saab.com/es/markets/spain/entrenamiento-y-simulacion>
- [25] «El ejército responde: ¿Reflejan los videojuegos la realidad de la guerra?», Millenium ES. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.millenium.gg/noticias/24470.html>
- [26] «Call of Duty®: Modern Warfare | Home». Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.callofduty.com/modernwarfare>
- [27] E. Arts, «Battlefield - El galardonado juego de acción en primera persona de EA y DICE - Sitio web oficial», Electronic Arts Inc. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ea.com/es-es/games/battlefield>
- [28] «Shooter | Definición en GamerDic». Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.devuego.es/gamerdic/termino/shooter/>
- [29] «Simuladores en las Fuerzas Armadas españolas», Revista Española de la Defensa (RED), año 25, nº283, abril 2012. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/documentacion/revistas/2012/RED-283>
- [30] A. Perera, «El Ejército español invierte en Arma 2», Hobby Consolas. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.hobbyconsolas.com/noticias/ejercito-espanol-invierte-arma-2-46031>
- [31] Tcol Eduardo Sanchez Pintado, «Simulación en el EA», 07 EA. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/Lists/Publicaciones/Attachments/224/07>
- [32] «Pruebas en el Simulador de Navegación de la ENM.», Figura 6, ResearchGate. Accedido: 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Pruebas-en-el-Simulador-de-Navegacion-de-la-ENM_fig6_298069399
- [33] «El Personal de tropa de Infantería de Marina del XV Curso de aptitud de Armas Antiaéreas se instruyen en los Simuladores Mistral - Ejército de tierra». Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Segovia/acart/Noticias/2018/070.html>
- [34] R. D. InfoDefensa, «Indra lanza una versión de su simulador Víctrix basada en la realidad virtual», Infodefensa - Noticias de defensa, industria, seguridad, armamento, ejércitos y tecnología de la defensa. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3291679/indra-lanza-version-simulador-victrix-basada-realidad-virtual>
- [35] «Fotos: galería y simulador de tiro del Tercio de Armada», La voz de Cádiz. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.lavozdigital.es/cadiz-provincia/lvdi-fotos-galeria-simulador-tiro-303032069929-20190914171504_galeria.html
- [36] «Las Fuerzas Armadas cuentan ya con 34 simuladores de tiro Victrix», ABC Blogs. Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://abcblogs.abc.es/tierra-mar-aire/otros-temas/simulador-tiro-victrix.html>
- [37] EDUCACIÓN 3.0, «¿Qué es la gamificación y cuáles son sus objetivos? | EDUCACIÓN 3.0». Accedido: 17 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.educaciontrespuntocero.com/noticias/gamificacion-que-es-objetivos/>

- [38] «Inteligencia Artificial: Qué es y Por Qué Importa». Accedido: 17 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.sas.com/es_pe/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html
- [39] cursosMolones, «Realidad virtual, aumentada y mixta. Qué son y diferencias.», Editeca. Accedido: 17 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://editeca.com/realidad-virtual-aumentada-y-mixta-que-son-y-en-que-se-diferencian/>
- [40] «Zero Latency VR | Free-Roam Virtual Reality Gaming Experiences», Zero Latency VR. Accedido: 17 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://zerolatencyvr.com/>
- [41] «Pokémon GO AR Photo Contest Rules», Pokémon GO. Accedido: 17 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pokemongolive.com/post/arphotocontest/>
- [42] «Epic Games | Home», Epic Games. Accedido: 28 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.epicgames.com>
- [43] «Newsfeed», Sketchfab. Accedido: 28 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sketchfab.com/feed>
- [44] «Unreal Engine 5», Unreal Engine. Accedido: 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.unrealengine.com/en-US/unreal-engine-5>
- [45] «Software Autodesk Inventor». Accedido: 27 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.es/products/inventor/overview>
- [46] «Gafas de realidad mixta y virtual Meta Quest 3 | Meta Store». Accedido: 28 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.meta.com/es/quest/quest-3/>
- [47] E. Rosicart, «¿Qué es Meta Quest? La Guía Completa», Metaverse News. Accedido: 28 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://metaverse-news.es/que-es-meta-quest-la-guia-completa/>
- [48] «EVGA - Innovacion Inteligente - Official Website», EVGA. Accedido: 28 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://latam.evga.com/>
- [49] «Operaciones Militares en Terreno Urbano». Accedido: 13 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/operaciones-militares-en-terreno-urbano-hurtado-rmba-cpp--ij9kc>
- [50] Pontevedra, «La base de la Brilat culmina su reordenación con nuevas áreas de entrenamiento», Faro de Vigo. Accedido: 16 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.farodevigo.es/pontevedra/2017/03/28/base-brilat-culmina-reordenacion-nuevas-16352281.html>
- [51] «Google Earth». Accedido: 16 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://earth.google.com/web/@72.5736473,-63.88525547,-7123.17481631a,22258876.28663778d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA>
- [52] «Inicio - Instituto Geográfico Nacional». Accedido: 16 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ign.es/web/ign/portal>
- [53] «Soldados de Australia, Canadá, EEUU y el Reino Unido se adiestran en España junto a la BRILAT», Defensa y Aviación. Accedido: 16 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ouono.net/elentir/2019/10/03/soldados-de-australia-canada-eeuu-y-el-reino-unido-se-adiestran-en-espana-junto-a-la-brilat/>
- [54] radio onda cero, «El inquietante vídeo en el que un presentador rodeado de talibanes armados pide a los afganos no tener miedo | Onda Cero Radio». Accedido: 16 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ondacero.es/noticias/mundo/inquietante-video-presentador-rodeado-talibanes-armados-pide-afganos-tener-miedo_20210831612e2418426181000131cbec.html

- [55] «Epic Games Store | Download & Play PC Games, Mods, DLC & More – Epic Games», Epic Games Store. Accedido: 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://store.epicgames.com/en-US/>
- [56] «Fortnite – A Free-to-Play Battle Royale Game and More», Epic Games' Fortnite. Accedido: 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.fortnite.com/?lang=en-US>
- [57] «Call of Duty® | La franquicia de videojuegos más vendida». Accedido: 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.callofduty.com/es/>
- [58] «League of Legends». Accedido: 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.leagueoflegends.com/es-es/>
- [59] «Unreal Sensei». Accedido: 25 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.unrealsensei.com/>
- [60] Armada, «Fusil G-36E y G-36KE (cañón corto) - Armamento - Infantería de Marina - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/buquesinfanteria/prefLang-es/05material-armamento-infanteria-marina--06armamento--fusil-g-36g-g36ke-es>
- [61] *Low-Poly HK G36 - Download Free 3D model by TastyTony*, (13 de noviembre de 2018). Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea Video]. Disponible en: <https://sketchfab.com/models/526ae321f20c4d62a0fddd5c93783a79/embed?autostart=1>
- [62] Armada, «Pistola FN P9 17 - Armamento - Infantería de Marina - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/buquesinfanteria/prefLang-es/05material-armamento-infanteria-marina--06armamento--pistola-fn-p9-17-es>
- [63] *Pistola 9mm AMP - Download Free 3D model by Albert Mas (@Axel99)*, (15 de octubre de 2019). Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea Video]. Disponible en: <https://sketchfab.com/models/6a482947c10440b28bd548f205b4214a/embed?autostart=1>
- [64] Armada, «Ametralladoras Minimi - Armamento - Infantería de Marina - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/buquesinfanteria/prefLang-es/05material-armamento-infanteria-marina--06armamento--ametralladora-minimi-es>
- [65] «M249 Modelo 3D gratis - .c4d .fbx - Free3D». Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://free3d.com/3d-model/m249-16234.html>
- [66] *M249 Counter Strike 2 - Download Free 3D model by blazitt*, (24 de abril de 2023). Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea Video]. Disponible en: <https://sketchfab.com/models/80f2724984b343199f0e7b72a5b92fc5/embed?autostart=1>
- [67] Armada, «Lanzagranadas Instalaza C90C - Armamento - Infantería de Marina - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/buquesinfanteria/prefLang-es/05material-armamento-infanteria-marina--06armamento--lanzagranadas-instalaza-c90c-es>
- [68] *Rocket Launcher - Download Free 3D model by Ivan008 (@hukan008)*, (4 de diciembre de 2019). Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea Video]. Disponible en: <https://sketchfab.com/models/32177fca0bf54bf3a844b3ba61845c28/embed?autostart=1>
- [69] «MetaHuman Creator». Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://metahuman.unrealengine.com/>

ANEXO I: IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y AMBIENTALES

El adiestramiento de los combatientes es vital tanto para el desempeño de sus funciones como para las Fuerzas Armadas. No obstante, este a la vez implica el uso de un abanico de recursos, medios y equipo que suponen un elevado coste y una gran inversión por parte del Ministerio de Defensa. Esto no es algo que esté al margen de la Escuela Naval Militar, ya que no se puede permitir el lujo de escatimar en gastos de la formación de oficiales alumnos de Infantería de Marina. El adiestramiento de combate en zona urbana no es una excepción.

La función del escenario de combate recreado es ofrecer una alternativa en el adiestramiento de técnicas, tácticas y procedimientos de operaciones MOUT y CQB. Mediante la adquisición de un pequeño lote de material necesario para la realidad virtual en el simulador de combate será posible la práctica de los alumnos en estas TTPs sin necesidad de acudir físicamente a un lugar destinado para ello. No debería ser un sustituto de las prácticas de campo semanales destinadas a su adiestramiento, pero sí, como ya se ha mencionado en numerosas ocasiones, un complemento para su formación que permitirá la adquisición y automatización de los movimientos básicos de este ámbito.

La formación en MOUT y CQB de los oficiales alumnos se lleva a cabo normalmente en el lugar mencionado previamente, el Polígono de Instrucción de Combate en Zona Urbana (PICOZU) dentro de la base General Morillo de la BRILAT. Este recinto de instrucción del acuartelamiento del ET se encuentra a unos 8,3 kilómetros de la Escuela Naval Militar, que supone un gasto en gasolina de los autobuses empleados para el transporte de los casi cien alumnos que componen la CIA de alumnos de IM. A este gasto se le debe sumar toda la coordinación logística que se debe realizar, incluyendo comida, equipo y material necesario para llevar a cabo un día entero de adiestramiento en este polígono de instrucción. El propósito de este simulador es complementar estas salidas dedicadas al adiestramiento en combate urbano, reduciendo el número de salidas necesarias al aprender los conocimientos y TTPs básicas a través de la práctica repetida en realidad virtual.

Paralelo al gasto económico que supone todo el proceso mencionado, también tiene un impacto medioambiental notable. El combustible consumido, la munición empleada y el desgaste del material usado tiene un impacto directamente negativo sobre el medio ambiente. A través del empleo del simulador para complementar estas prácticas, se reducen los viajes y el adiestramiento real realizado por los alumnos en PICOZU, mermando así mismo la gasolina que consumen los autobuses de transporte, la munición empleada para las prácticas y las vainas generadas, y el desgaste del material a cargo de los alumnos que tendría que ser renovado antes de tiempo.

En conclusión, considerando todo el esfuerzo y coordinación logística que la Escuela Naval Militar debe invertir en estas prácticas, así como la cantidad de residuos y polución generada durante las mismas, la implementación de este simulador de combate en el plan de estudios de los oficiales alumnos de IM tendrá un impacto económico positivo para la ENM y por ende para las FFAA españolas, además de un impacto medioambiental beneficioso para el cambio climático.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

En el apartado Reglas de combate se han tratado las reglas de enfrentamiento, o ROEs, definidas como circunstancias en las que un combatiente puede hacer uso de la fuerza, así como la intensidad y la forma de esa fuerza. Por tanto, son las reglas que todo combatiente en cualquier situación debe cumplir para tener el respaldo legal necesario a todos los escalones de Mando en el uso de la fuerza.

En el panorama actual, las REN (Reglas de Enfrentamiento), así como la Defensa Personal y el Derecho Internacional Humanitario, tienen gran importancia y toman un papel protagonista en los conflictos contemporáneos, en los que un enemigo no se compone exclusivamente de combatientes y personal entrenado, sino que civiles de distintas edades y género hacen uso de las armas para oponer resistencia. Estos son los denominados enemigos asimétricos, frente a los cuales se debe extremar el cumplimiento de las ROEs establecidas en el conflicto armado.

Estas reglas de enfrentamiento son primordiales para garantizar que los militares actúen dentro de la legalidad y respeten los derechos humanos, incluso en situaciones de alta tensión y estrés. No obstante, la aplicación de estas reglas no es siempre perfecta, y en determinadas situaciones se pueden producir abusos y violaciones de ellas, que conllevarían sanciones graves debido a delitos de guerra.

Los futuros oficiales de Infantería de Marina de la Armada deben tener la capacidad de tomar las decisiones adecuadas conforme a estas reglas de enfrentamiento incluso en las situaciones mayor tensión y estrés. Es por ello, y con el propósito de que adquieran los conocimientos, adiestramiento y liderazgo necesarios, el simulador de combate debe presentar diversas situaciones complejas y estresantes que permitan instruir a los alumnos en ambientes cambiantes y asimétricos. Como se expuso en el apartado Consideraciones que influyen en las situaciones a recrear, el oficial debe ser capaz de distinguir entre combatientes y civiles de distintas edades y género frente a una amenaza asimétrica. Trato de rehenes o limitación en el uso de determinadas armas de fuego también son consideraciones que ponen al alumno en una tesis frente al margen de la legalidad y el cumplimiento de las ROEs establecidas. Mediante estas posibilidades que puede ofrecer el simulador de realidad virtual, los oficiales alumnos desarrollarán las capacidades y el liderazgo necesarios para la toma de decisiones adecuadas en los momentos oportunos.

ANEXO III: PLANOS PICOZU BASE GENERAL MORILLO

INFORMACIÓN RESTRINGIDA

INFORMACIÓN RESTRINGIDA

INFORMACIÓN RESTRINGIDA

INFORMACIÓN RESTRINGIDA

INFORMACIÓN RESTRINGIDA

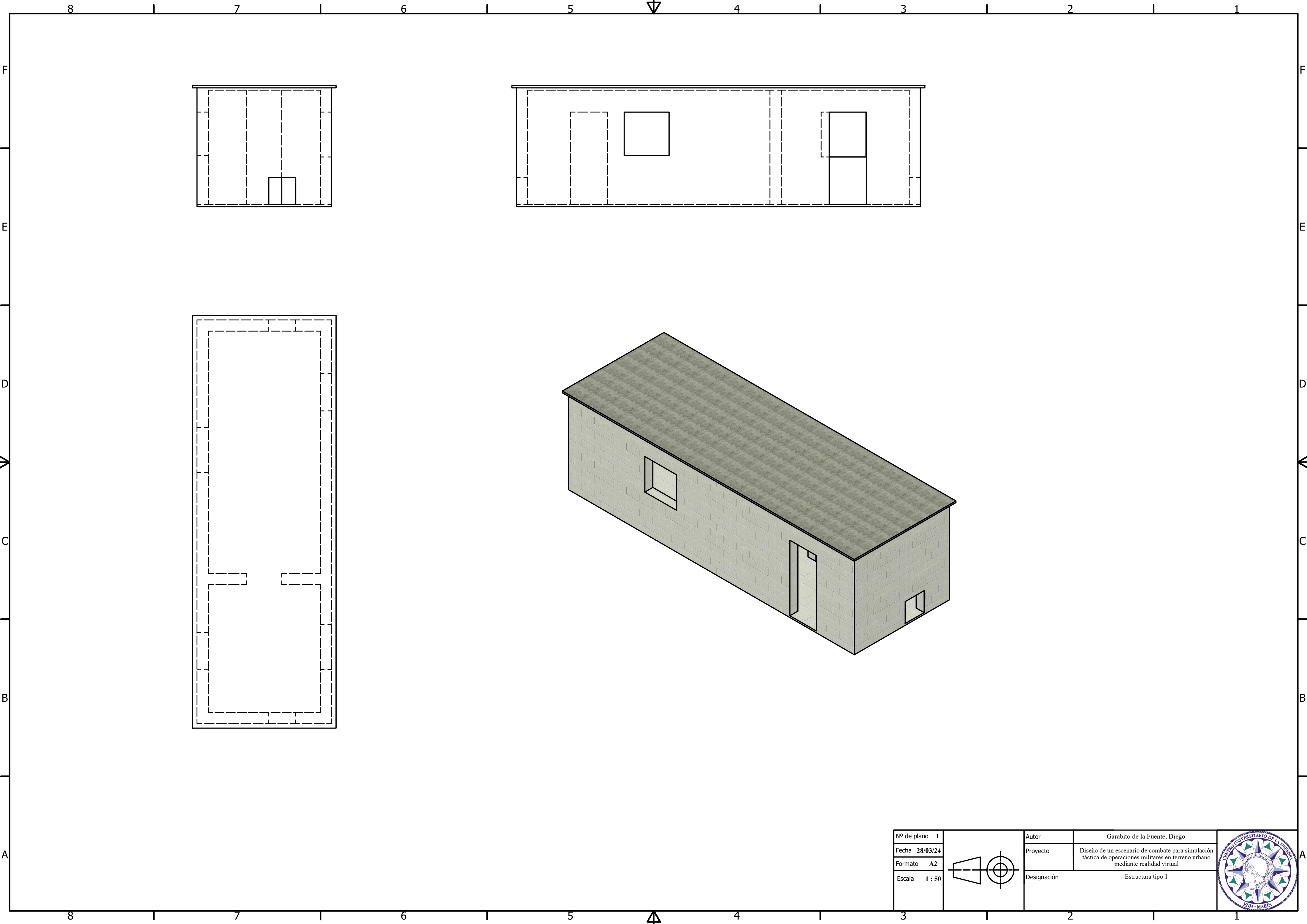
INFORMACIÓN RESTRINGIDA

INFORMACIÓN RESTRINGIDA

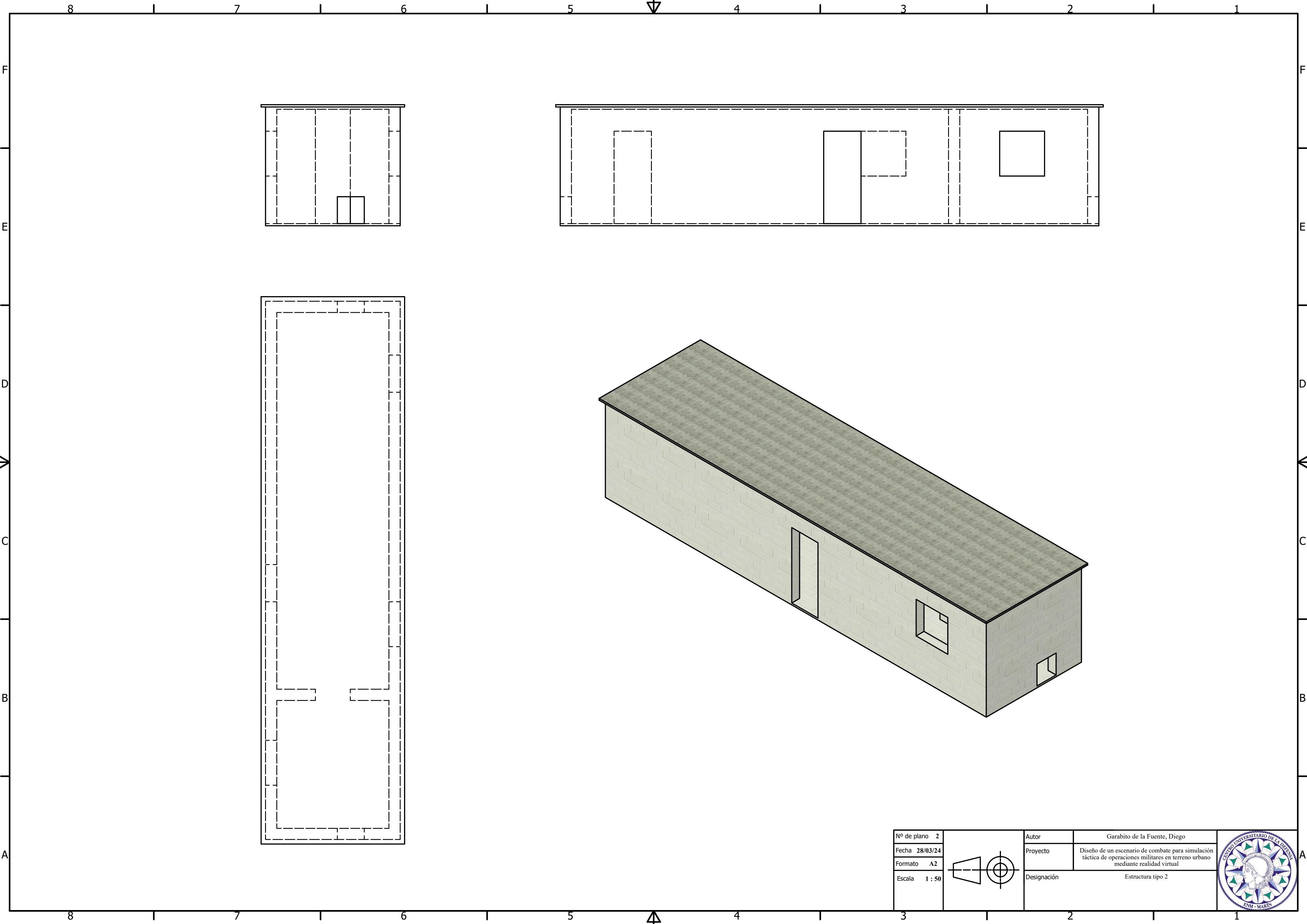
INFORMACIÓN RESTRINGIDA

INFORMACIÓN RESTRINGIDA

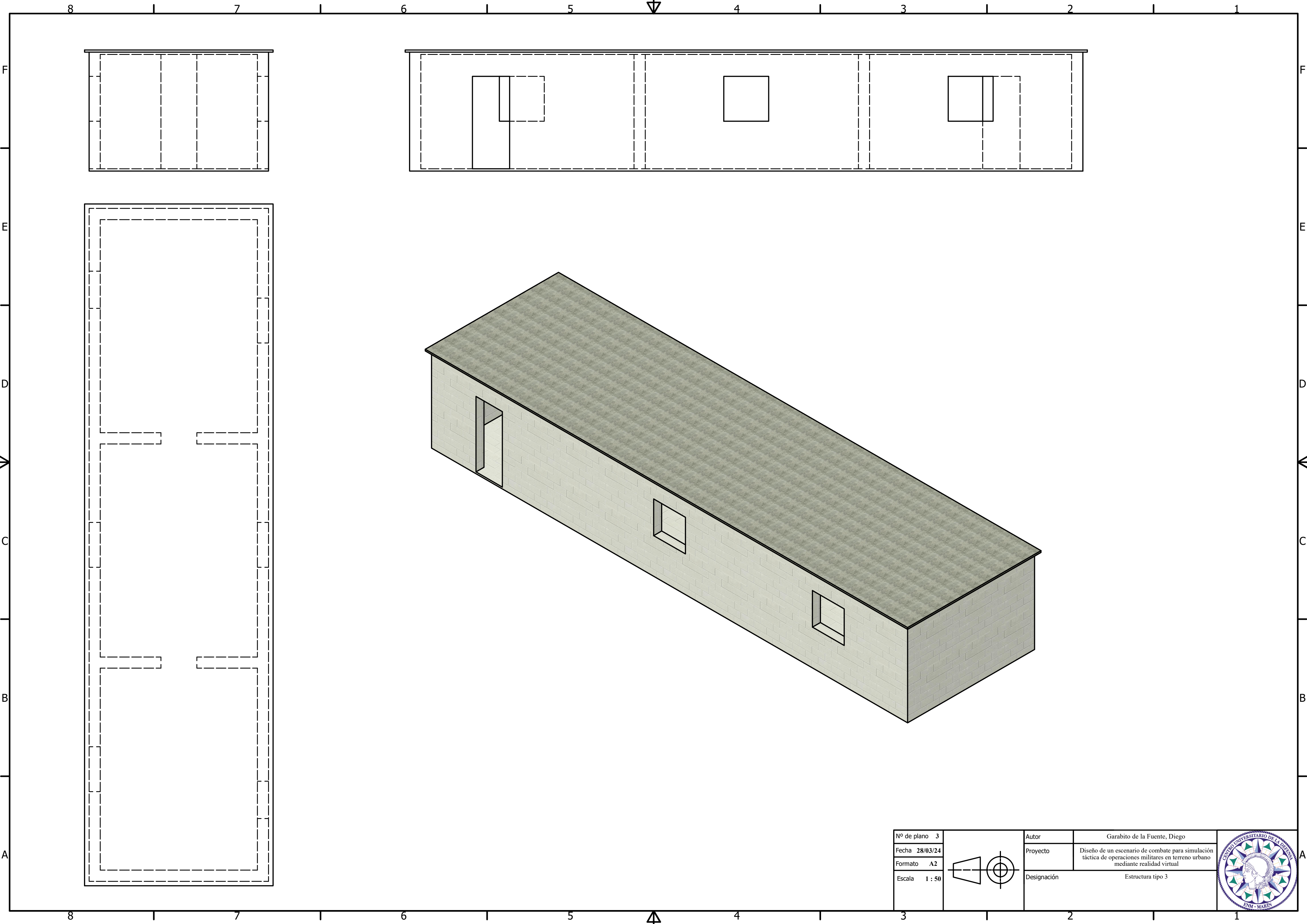
ANEXO IV: PLANOS INVENTOR EDIFICIOS ESCENARIO



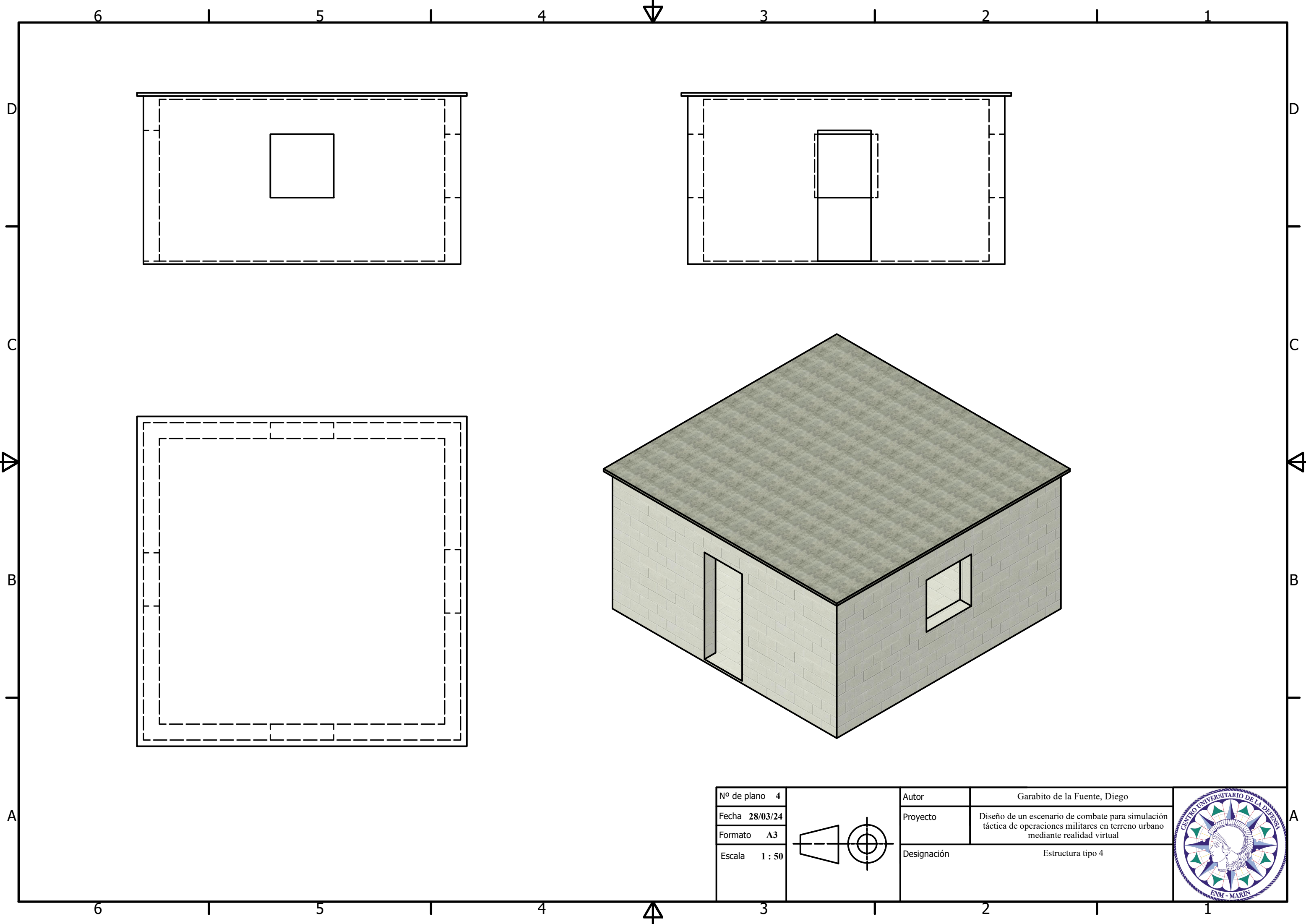
Nº de plano	1		Autor	Garabito de la Fuente, Diego	
Fecha	28/03/24		Proyecto	Diseño de un escenario de combate para simulación táctica de operaciones militares en terreno urbano mediante realidad virtual	
Formato	A2		Designación	Estructura tipo 1	
Escala	1 : 50				



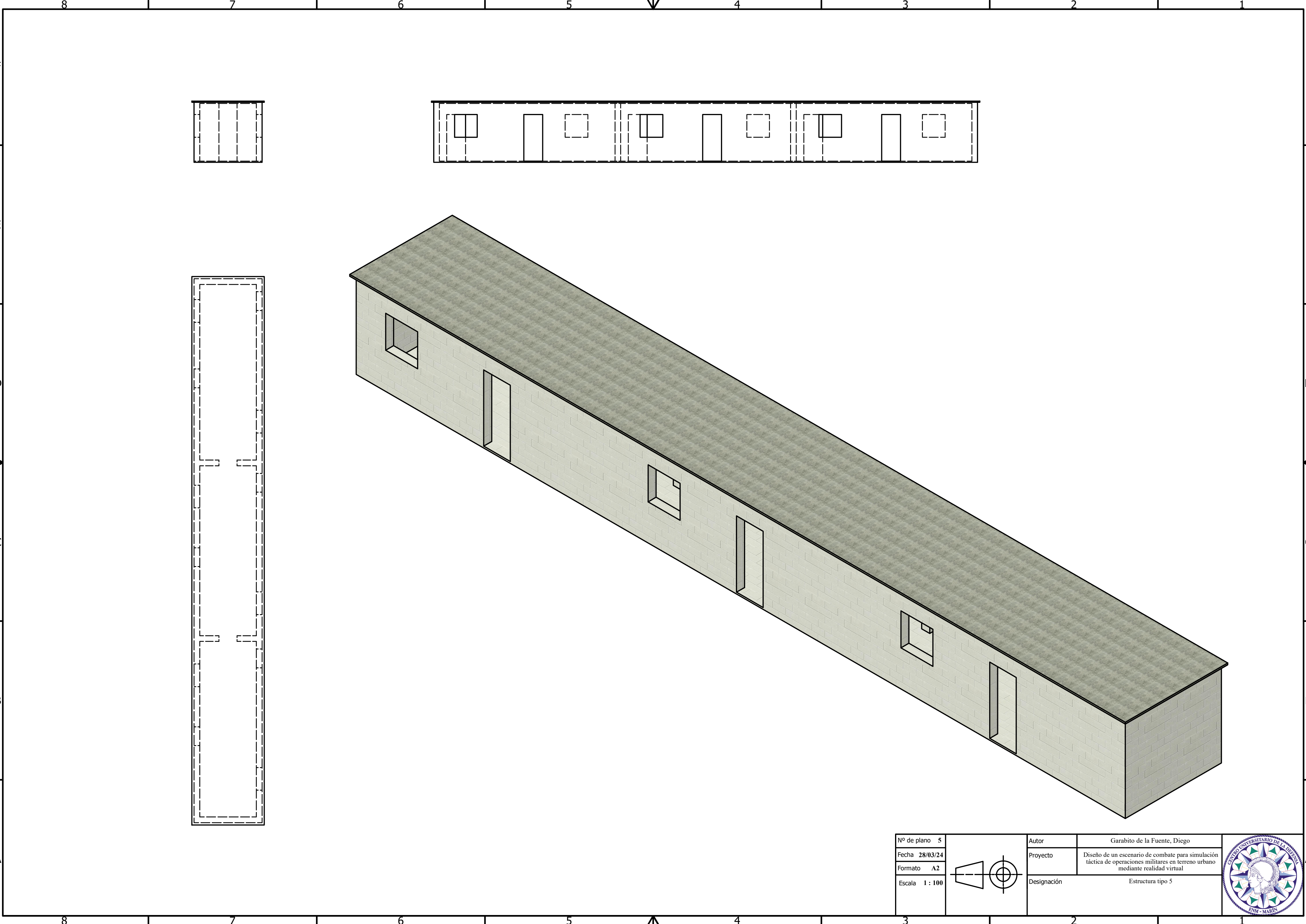
Nº de plano	2		Autor	Garabito de la Fuente, Diego		
Fecha	28/03/24		Proyecto	Diseño de un escenario de combate para simulación táctica de operaciones militares en terreno urbano mediante realidad virtual		
Formato	A2		Designación		Estructura tipo 2	
Escala	1 : 50					



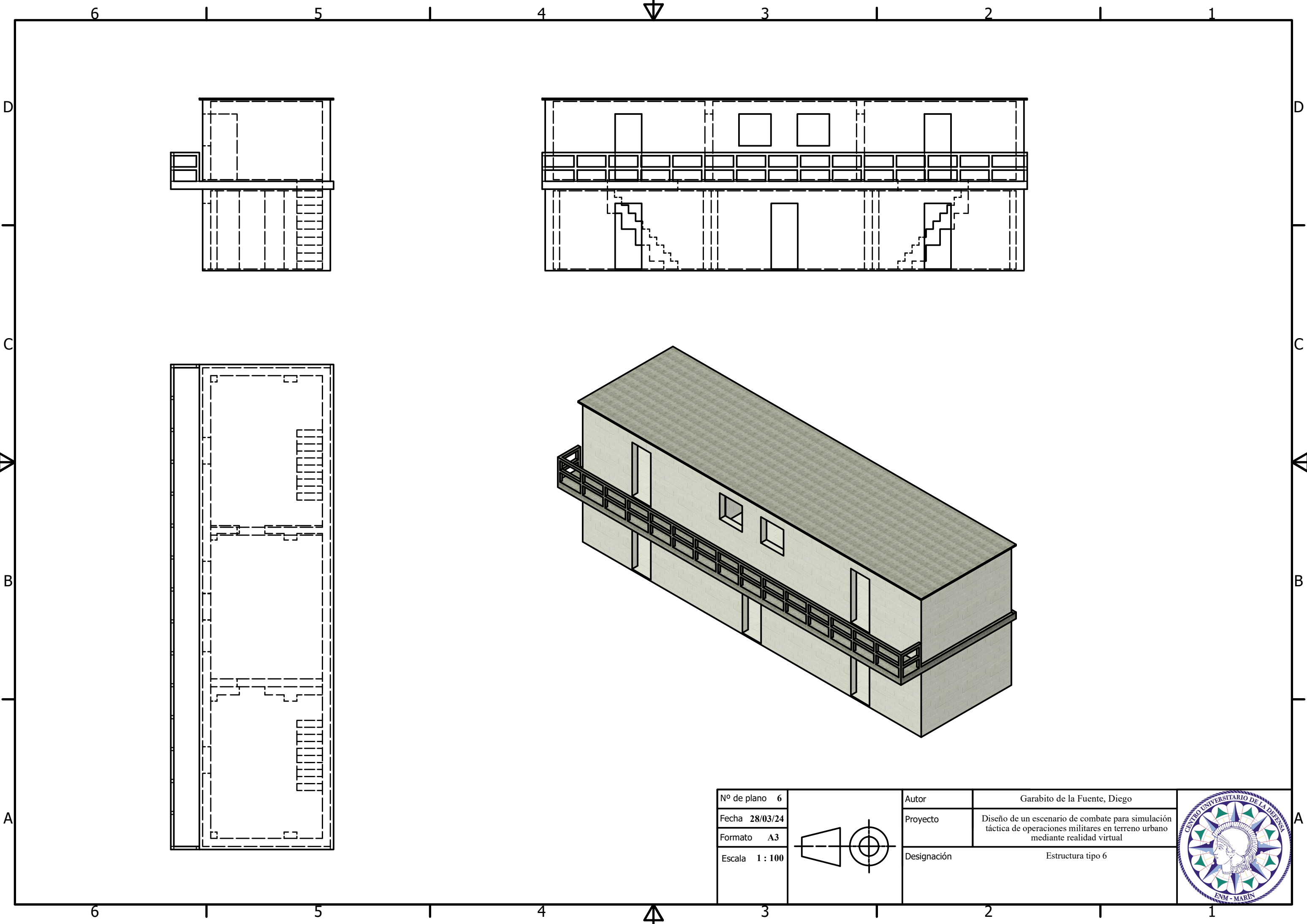
Nº de plano	3		Autor	Garabito de la Fuente, Diego	
Fecha	28/03/24		Proyecto	Diseño de un escenario de combate para simulación táctica de operaciones militares en terreno urbano mediante realidad virtual	
Formato	A2		Designación		
Escala	1 : 50				



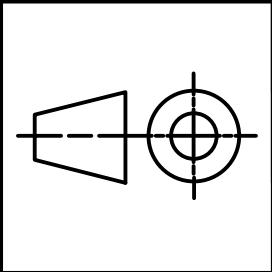
Nº de plano	4		Autor	Garabito de la Fuente, Diego	
Fecha	28/03/24		Proyecto	Diseño de un escenario de combate para simulación táctica de operaciones militares en terreno urbano mediante realidad virtual	
Formato	A3		Designación		
Escala	1 : 50				
		Estructura tipo 4			



Nº de plano	5		Autor	Garabito de la Fuente, Diego	
Fecha	28/03/24		Proyecto	Diseño de un escenario de combate para simulación táctica de operaciones militares en terreno urbano mediante realidad virtual	
Formato	A2		Designación		
Escala	1 : 100				

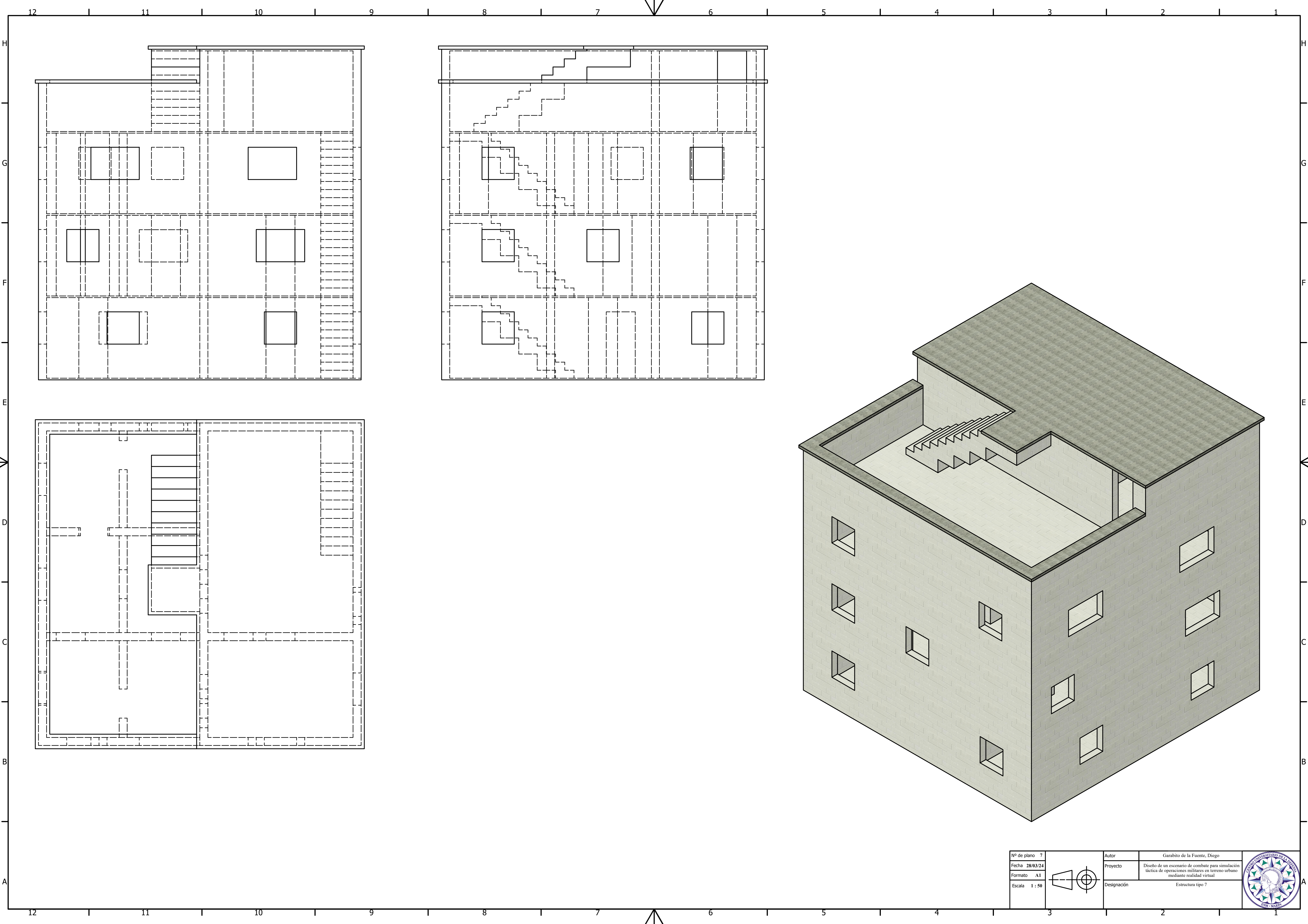


Nº de plano	6
Fecha	28/03/24
Formato	A3
Escala	1 : 100



Autor	Garabito de la Fuente, Diego
Proyecto	Diseño de un escenario de combate para simulación táctica de operaciones militares en terreno urbano mediante realidad virtual
Designación	Estructura tipo 6





Nº de plano	7		Autor	Garabito de la Fuente, Diego		
Fecha	28/03/24		Proyecto	Diseño de un escenario de combate para simulación táctica de operaciones militares en terreno urbano mediante realidad virtual		
Formato	A1		Designación	Estructura tipo 7		
Escala	1 : 50					

ANEXO V: MANUAL DE SEGURIDAD GAFAS META QUEST 3

MANUAL DE SEGURIDAD
Y GARANTÍA



META QUEST 3

INFORMACIÓN SOBRE SALUD
Y SEGURIDAD

⚠ ADVERTENCIA Para reducir el riesgo de lesiones personales, molestias o daños materiales, asegúrate de que cada usuario de tu Meta Quest 3 lee atentamente todas las advertencias e instrucciones antes de utilizarlo.

⚠ ADVERTENCIA Guarda esta información para futuras referencias. Las características y accesorios disponibles para tu Meta Quest pueden cambiar. Visita meta.com/quest/warnings para obtener la información más actualizada.

■ Además de las versiones actualizadas de las advertencias, este sitio ofrece un índice y una versión accesible en texto de mayor tamaño.

⚠ ADVERTENCIA Lee y sigue todas las advertencias e instrucciones proporcionadas con cualquier aplicación, contenido o accesorio que utilices con tu Meta Quest. Si no lo haces, pueden producirse lesiones personales o daños materiales.

⚠ ADVERTENCIA ESTE SISTEMA NO ESTÁ EQUIPADO CON UN SISTEMA DE PROTECCIÓN. Tu Meta Quest no debe utilizarse para situaciones críticas o para salvar vidas.

Visita el Centro de Seguridad en meta.com/quest/safety-center para obtener más información sobre el uso seguro de tu Meta Quest.

■ Tu **Meta Quest** incluye el visor Meta Quest 3, los controladores autorizados, el sistema operativo, las aplicaciones y la base de carga, cables, adaptador de corriente y accesorios autorizados.

Lectura y uso de esta Guía de seguridad
y garantía

Para ayudarte a utilizar esta guía, te proporcionamos recuadros útiles que también debes leer atentamente como parte de estas advertencias:

- Las casillas de definición de algunas palabras clave están marcadas con este símbolo (■).
- Las casillas de información proporcionan contexto sobre nuestras advertencias, marcadas con este símbolo (■).
- Otras secciones relevantes para la advertencia que estás leyendo están marcadas con este símbolo (➤). También deberías revisar la sección vinculada.

∞ Meta Quest 3

2

3

INDICE

Lectura y uso de esta Guía de seguridad y garantía	3
No apto para todos: niños y enfermedades preexistentes	5
No todos los niños están preparados para usar Meta Quest	5
Problemas médicos preexistentes	6
Interferencias con productos sanitarios y restricciones en determinados lugares	7
Usos prohibidos	7
Conseguir el ajuste adecuado	8
Ajuste del visor	8
Ajuste de los controles	9
Selección de aplicaciones y contenidos	9
Actividad física	11
Tu entorno, zona de actividad y contenido virtual	11
Percepción limitada	11
Elegir y preparar tu zona de actividad segura	12
Interactuar con el mundo físico	14
Molestias y otros síntomas físicos	17
Duración de la sesión y pausas	18
Orientaciones y limitaciones sobre el uso por parte de niños	19
Supervisar y garantizar el uso adecuado	20
Selecciona el contenido adecuado	21
Tu Meta Quest	22
Cuidado y manejo de Meta Quest	23
Alertas del sistema	25
Baterías, carga y temperatura	25
Baterías y carga	25
Temperatura	27
Mantén limpios los puntos de carga y el cable	27
Descarga eléctrica	28
Lesiones por una tensión recurrente	28
Pérdida auditiva	28
Enfermedades contagiosas	29
Láser	29
No es un producto sanitario	29

No apto para todos:
niños y enfermedades preexistentes

No todos los niños están preparados para usar Meta Quest

⚠ ADVERTENCIA No se recomienda su uso a niños pequeños o de menor tamaño, o si no se puede ajustar el visor para que encaje correctamente. No es un juguete. El uso por parte de niños puede provocar lesiones y efectos negativos, como fatiga muscular u ocular. Manténlo alejado de los niños que determines que no deben utilizar Meta Quest.



■ Edad mínima para crear una cuenta.

Es necesario tener una cuenta para usar Meta Quest, además deberá cumplir con requisitos concretos, como que el usuario tenga una edad mínima de 10 años (los requisitos varían según país). Consulta meta.com/quest/terms y la página de información para padres en meta.com/quest/parentinfo.

■ Los niños, sobre todo los más pequeños y de menor tamaño.

Los padres deben considerar detenidamente si su hijo está preparado para Meta Quest. El cuerpo de los niños suele estar menos desarrollado, por lo que sus ojos, cuello, espalda y fuerza pueden no permitirles utilizar Meta Quest con comodidad o seguridad. Puede que no tengan suficiente resistencia o que el visor no les quede bien. Esto es especialmente cierto para los niños pequeños, en cuanto edad o talla. También pueden tener reacciones más intensas ante los contenidos virtuales y les puede resultar más difícil distinguir los contenidos virtuales de los del mundo físico, incluso después de dejar de utilizarlos. Pueden no leer o entender las advertencias e instrucciones, o no mencionar la visión borrosa, el dolor u otros síntomas o molestias.

⚠ ADVERTENCIA

El uso de Meta Quest por parte de los niños debe estar siempre supervisado por un adulto para reducir la probabilidad de lesiones o daños materiales.

- Los adultos siempre deben ayudar a los niños:
- Lee, comprende y sigue las advertencias e instrucciones,
- Asegúrate de lograr un ajuste adecuado y una vista clara (➤ **Conseguir el ajuste adecuado**).
- Selecciona espacios de actividad adecuados para su uso (➤ **Elegir y preparar tu zona de actividad segura**).
- Establece límites virtuales (➤ **Elegir y preparar tu zona de actividad segura**).
- Selecciona el contenido adecuado (➤ **Seleccionar aplicaciones y contenidos**).
- Haz pausas adecuadas y establece límites de tiempo de uso (➤ **Duración de la sesión y pausas**).
- Los adultos deben vigilar a los niños durante y después del uso para detectar cualquiera de los síntomas descritos en estas advertencias (➤ **Malestar y otros síntomas físicos**).

La sección ➤ **Orientaciones y limitaciones sobre el uso por parte de niños** contiene más orientaciones importantes.

Problemas médicos preexistentes

⚠ ADVERTENCIA

Consulta a un médico antes de usar tu Meta Quest si estás embarazada, perteneces a la tercera edad, tienes anomalías de visión binocular preexistentes, trastornos psiquiátricos, o tienes una afección cardíaca u otra afección médica grave.

⚠ ADVERTENCIA

Riesgo de convulsiones.

El contenido virtual puede incluir destellos de luz o patrones que pueden desencadenar convulsiones u otros síntomas. Deja de utilizarlo inmediatamente y consulta a un médico si experimentas mareos intensos, convulsiones, espasmos oculares o musculares, o desmayos mientras utilizas tu Meta Quest. Consulta a un médico si anteriormente has tenido convulsiones,

4

5

6

desmayos u otro síntoma relacionado con la epilepsia.

■ Convulsiones. Algunas personas (aproximadamente 1 de cada 4000) pueden experimentar mareos intensos, convulsiones, espasmos oculares o musculares o desmayos provocados por ciertos destellos o patrones de luz. Estos síntomas pueden ocurrir mientras ven la televisión, jugando a videojuegos o experimentando contenidos virtuales, aunque nunca hayan tenido convulsiones o un desmayo antes ni tengan antecedentes de convulsiones o epilepsia. Estos síntomas son más habituales en niños y jóvenes.

Interferencias con productos sanitarios y restricciones en determinados lugares

ADVERTENCIA Componentes magnéticos.

Tu Meta Quest contiene imanes y componentes que emiten campos magnéticos/electromagnéticos que podrían afectar al funcionamiento de aparatos electrónicos y médicos cercanos, entre los que se incluyen marcapasos cardíacos, audífonos y desfibriladores. Si tienes un marcapasos, un audífono u otro dispositivo médico implantado:

- Mantén una distancia segura entre el dispositivo médicos y el visor y los controlador de Meta Quest.
- Consulta a un médico o al fabricante de tu dispositivo médico antes de utilizar tu Meta Quest.
- No utilices el sistema tu Meta Quest si observas interferencias con otros dispositivos médicos.
- Sigue las restricciones e instrucciones establecidas en determinados lugares para limitar o evitar el uso de aparatos radioelectrónicos (por ejemplo, en hospitales, aviones o gasolineras).

Usos prohibidos

ADVERTENCIA No lo utilices en situaciones peligrosas. No lo utilices nunca en situaciones peligrosas del mundo físico, en las que una tarea

7

requiera una atención concentrada y una gran coordinación o precisión de movimientos, como correr o conducir. No lo utilices mientras manipulas objetos o materiales peligrosos, como utilizar un cuchillo para picar alimentos.

ADVERTENCIA NO UTILIZAR EN CASO DE DISCAPACIDAD. No utilices el visor cuando estés impedido, ya que puede aumentar tu susceptibilidad a síntomas adversos y afectar negativamente a tu movimiento y equilibrio. Entre los impedimentos que debes evitar cuando decidas utilizar el visor se incluyen:

- Has consumido alcohol o drogas
- Tienes resaca o malestar estomacal
- Sientes cansancio, agotamiento o insomnio
- Sientes estrés o ansiedad
- Tienes una enfermedad infecciosa, dolor de cabeza, migraña o dolor de oídos.

Conseguir el ajuste adecuado

Ajuste del visor

Para reducir el riesgo de molestias—como presión, enrojecimiento, irritación, rozaduras, náuseas, tensión u otros síntomas—el visor debe estar bien ajustado a cada usuario.

- Ajusta las correas de la cabeza para asegurar una colocación cómoda del visor.
- Ajusta la distancia entre las lentes girando la rueda situada en la parte inferior del visor, moviendo las lentes a la posición que proporcione la imagen más nítida.
- Cuando está correctamente ajustado, el visor debe encajar de forma cómoda y se debe ver una imagen única y nítida. Vuelve a comprobar el ajuste antes de reanudar el uso para reducir el riesgo de molestias por cualquier cambio involuntario en las correas de la cabeza o en la posición de las lentes.

» Malestar y otros síntomas físicos

8

Ajuste de los controles

ADVERTENCIA Instala y utiliza muñequeras u otras sujeciones autorizadas con los controladores y accesorios para sujetarlos a la muñeca durante su uso, de modo que no se conviertan en proyectiles (a menos que utilices una aplicación en la que sea apropiado un lápiz óptico y sea improbable hacer movimientos rápidos).

» Cuidado y manejo de Meta Quest

Selección de aplicaciones y contenidos

ADVERTENCIA Elige tu aplicación y contenido con cuidado, porque el contenido virtual puede parecer muy realista. Los usuarios pueden reaccionar ante contenidos aterradores, violentos, desorientadores o que provoquen ansiedad como si estuvieran ocurriendo en el mundo físico.

- Si eres nuevo en el contenido virtual o has experimentado incomodidad al probarlo antes, empieza con las clasificaciones de Contenido y Comodidad generalmente apropiadas para todos los usuarios, para ver si una experiencia es adecuada para ti. Por ejemplo, prueba el contenido clasificado como Cómodo antes de probar el contenido clasificado como Moderado, Intenso o Sin clasificar.
- » Clasificaciones de contenido y comodidad



Clasificaciones de contenido y comodidad

Las **clasificaciones de contenido** las pueden proporcionar agencias de calificación internacionales o regionales y se muestran en la Meta Quest Store. Estas clasificaciones proporcionan recomendaciones de edad y descriptores de contenido.

Las **valoraciones de comodidad** pueden mostrarse en la Meta Quest Store. Estas pueden ayudarte a comprender lo cómoda que es de usar una aplicación y la probabilidad de que te provoque mareos, dependiendo de tus necesidades y de tu nivel de experiencia con contenidos virtuales.



Cómodo en general, las experiencias cómodas evitan el movimiento de la cámara, el movimiento del jugador o los contenidos y efectos desorientadores.



Moderado las experiencias pueden incorporar algún movimiento de cámara, movimiento del jugador u ocasionalmente contenidos y efectos desorientadores.



Intenso las experiencias incorporan un importante movimiento de cámara, movimiento del jugador o contenidos y efectos desorientadores.



Las experiencias **sin clasificar** no están clasificadas, pero pueden tener un contenido intenso. Si experimentas mareos, vértigos u otros efectos negativos, interrumpe la experiencia y prueba otra que se ajuste a tu nivel de comodidad.

Para reducir el riesgo de sufrir molestias, ve a meta.com/help/quest/comfort para obtener más información sobre las clasificaciones de comodidad y elegir el contenido adecuado.

10

Actividad física

ADVERTENCIA La actividad física vigorosa puede provocar lesiones o la muerte, incluso en personas aparentemente sanas. Antes de empezar un nuevo programa de ejercicios, consulta a un médico. Esto es especialmente importante si has estado inactivo durante cierto periodo, tienes alguna situación cardíaca especial o sospechas que pueda empeorar alguna otra condición médica;

- Considera la posibilidad de hacer pausas más frecuentes durante la actividad extenuante.

» Duración de la sesión y pausas

- Elige cuidadosamente el contenido activo. Las actividades en las que te muevas en posiciones no sentadas o no erguidas (por ejemplo, mirando al suelo en una flexión) o en las que utilices otros equipos de ejercicio (por ejemplo, pesas) pueden aumentar el riesgo de lesiones o daños materiales.
 - Seca tu Meta Quest de cualquier resto de sudor tras su uso, siguiendo las instrucciones de
- » Cuidado y manejo de Meta Quest.

Tu entorno, zona de actividad y contenido virtual

Percepción limitada

ADVERTENCIA Visión y audición limitadas. El visor producen una experiencia atractiva y pueden bloquear tu percepción del entorno físico (vista y oído), lo que puede exponerte a peligros. No utilizar los dispositivos de seguridad de tu Meta Quest aumenta el riesgo de sufrir molestias, lesiones o daños materiales.

- Durante el uso, no sujetes ni manipules objetos que sean peligrosos, que puedan lesionarte a ti o a otras personas o que puedan dañarse.
- El visor limita tu campo de visión. Ten cuidado al moverte, ya que puedes no percibir algo a tu lado.
- Quitarte el visor para tener una visión sin obstáculos en cualquier situación del mundo físico que requiera atención o coordinación.

Elegir y preparar tu zona de actividad segura

La zona de actividad es el área que eliges para utilizar tu Meta Quest.

ADVERTENCIA Sé siempre consciente de tu entorno físico y de los peligros potenciales. Pueden producirse lesiones graves y daños materiales si golpeas objetos, paredes (u otros elementos estructurales), personas o animales domésticos, o si tropezas o te caes. Ten cuidado para evitar lesiones. Deja de utilizar tu Meta Quest o comprueba el entorno utilizando la función Passthrough (Cámara exterior) si no tienes seguridad de que tu entorno es seguro.



■ Funciones de seguridad de movimientos te ayudan a orientarte en el mundo físico mientras utilizas tu Meta Quest. Estas funciones y tu Meta Quest funcionan mejor en un espacio bien iluminado, con paredes y alrededores que creen diferentes patrones para que los sensores de tu Meta Quest puedan seguir tus movimientos.

- **Passthrough** es una función de tu Meta Quest que utiliza un sensor para mostrar tu entorno en la pantalla de tu Meta Quest. La función Passthrough te ayuda a permanecer dentro de tu zona de actividad, a mantener tus límites virtuales y a navegar por tu zona de actividad física si no tienes límites virtuales establecidos o si te sales de ellos.
 - **Límites virtuales** te ayudan a permanecer en tu zona de actividad para evitar colisiones con objetos del mundo físico mientras estás en tu entorno virtual.
 - **Identificación de objetos** es una función que te ayuda a ser consciente, en el contenido virtual, de los objetos físicos que has marcado en tu entorno.
- » Interactuar con el mundo físico

12

11

- Elige un zona de actividad apropiada para el contenido que piensas utilizar, preparándola de modo que puedas mantener tu seguridad. Evita los peligros (incluidas las personas, los animales domésticos o los objetos situados por encima de la cabeza) o apártalos de tu camino.
- » **Peligros que debes evitar**
- Utiliza los dispositivos de seguridad de los movimientos para orientarte sobre el entorno durante su uso.
- Es posible que tu Meta Quest no pueda seguir tus movimientos, y que los dispositivos de seguridad no funcionen correctamente, en zonas con paredes lisas sin decorar, paredes de cristal o espejo muy reflectantes o en zonas mal iluminadas. » **Peligros que debes evitar**
- Los movimientos rápidos o bruscos pueden hacer que choques o pierdas el equilibrio.
- Ten cuidado con las personas o animales domésticos que puedan entrar en tu zona de actividad sin que tú o tu Meta Quest detectéis su presencia. Toma las medidas adecuadas antes de utilizar tu Meta Quest para evitar que entren en tu espacio, especialmente aquellos que puedan no entender que tu percepción es limitada (por ejemplo, los niños).
- Una buena opción sería que otra persona actué como observador mientras te mueves en el contenido virtual.
- Si usas el visor con gafas puede aumentar el riesgo de lesiones faciales si te caes o te golpeas la cara.
- El uso del visor en un vehículo en movimiento, como un coche, un autobús, un avión o un tren, puede aumentar tu susceptibilidad a los síntomas adversos debido a la variación de la velocidad o a los movimientos bruscos.
- » **Malestar y otros síntomas físicos).**
- También puede aumentar la probabilidad de lesiones o daños materiales.

13

Meta Quest puede identificar esos objetos físicos y permitir experiencias de realidad mixta cuando pasas al contenido virtual. Meta Quest no puede mostrar objetos físicos que sean dinámicos, que no estén marcados o que se hayan movido desde que se marcaron.

- Marca todos los objetos físicos de la zona de actividad y retira los objetos físicos que no marques. Por ejemplo, marca las mesas de centro de punta a punta en la zona de actividad, pero retira los juguetes que no vayas a utilizar.
- Cuando marques objetos físicos dentro de la zona de actividad, intenta ser hacerlos con la mayor precisión posible.
- De una sesión a otra, comprueba la exactitud del mundo físico con respecto a lo marcado en la sesión anterior.
- **Passthrough.** Los sensores de Passthrough no son tan claros ni amplios como tu visión natural. Passthrough puede ir por detrás de lo que ocurre en el mundo físico y no representar con precisión la distancia/profundidad o los colores. Ten cuidado cuando utilices Passthrough para ver tu entorno. Ten cuidado al agarrar y manipular objetos físicos, ya sea en Passthrough o en realidad mixta.



» **Multijugador local** es una configuración disponible en algunas aplicaciones que permite a los usuarios compartir el mismo entorno virtual, compartiendo una única zona de actividad o espacios de actividad físicamente cercanos.

- » **ADVERTENCIA** Entrar en contacto con otros usuarios locales podría causar lesiones, colisiones o daños materiales. Selecciona los espacios compartidos con cuidado y sigue todas las instrucciones y advertencias de la aplicación para configurar y utilizar tu(s) espacio(s) de actividad.
- Cada usuario local debe verificar que la(s) zona(s) de actividad está configurada para realizar interacciones seguras sin que los usuarios entren en contacto el uno con el otro.

16

» **Peligros a evitar.** Algunos peligros que debes identificar y evitar cuando prepares la zona de actividad o utilices tu Meta Quest incluyen:

- Paredes, puertas, ventanas, escaleras, balcones, rampas y portales
- Muebles (como mesas de centro), lámparas, alfombras sueltas y suelos irregulares
- Personas (especialmente niños pequeños) y animales domésticos
- Tableros y muebles de cristal o espejo
- Líquidos, llamas y fuentes de calor (como velas, chimeneas o electrodomésticos para la cocina)
- Ventiladores de techo, lámparas y columnas
- Televisores, monitores u otros aparatos electrónicos



» **ADVERTENCIA** No se recomienda su uso en exteriores.

Utilizar tu Meta Quest al aire libre puede causar que surjan peligros adicionales e incontrolados (por ejemplo, superficies irregulares/resbaladizas, condiciones meteorológicas y objetos/vehículos/personas/animales inesperados). El agua y otros elementos del exterior pueden dañar tu Meta Quest o perjudicar su funcionamiento. Puede que no seas capaz de crear un entorno siempre seguro. Es posible que tu Meta Quest no funcione correctamente en exteriores y no pueda seguir tu posición. Las condiciones de iluminación demasiado brillantes o tenues pueden impedir que los sensores y las funciones de seguridad de movimientos de tu Meta Quest funcionen de forma óptima, y pueden provocar pérdidas de seguimiento.» **Funciones de seguridad de movimientos**

Interactuar con el mundo físico
Límites virtuales.

Sigue las instrucciones en pantalla para definir tu zona de actividad. Los límites virtuales no te impiden físicamente a ti ni a otros



14

- Evita abarrotar una zona de actividad compartida. Tener más usuarios locales y mobiliario aumenta el riesgo de lesiones.
- Ten cuidado al salir de los mismos límites compartidos que otro usuario, porque puede que no veas a la persona física (o a su avatar) cuando salga de la aplicación.

» **ADVERTENCIA** No comprender bien que un objeto virtual es físico o viceversa puede provocar lesiones (por ejemplo, intentar apoyarse en una mesa virtual sin una mesa física que la sostenga o intentar caminar por un sofá virtual superpuesto a un sofá físico). Utiliza Passthrough, deja de utilizar Meta Quest o quítate el visor si no puedes distinguir qué objetos son virtuales y cuáles físicos.

Molestias y otros síntomas físicos

» **ADVERTENCIA** Deja de utilizar Meta Quest si sientes molestias u otros síntomas físicos durante o después de su uso. No reanudes la actividad hasta que te hayas recuperado totalmente de las molestias u otros síntomas. Si experimentas síntomas continuos durante el uso de Meta Quest o después, evita las actividades visual o físicamente exigentes, u otras actividades que requieran un equilibrio y una coordinación mano-ojo sin problemas, hasta que te hayas recuperado totalmente. Si las molestias, los síntomas físicos u otros efectos secundarios continúan durante un periodo prolongado o son graves después de dejar de usarlo, consulta a un médico y no reanudes el uso de Meta Quest hasta que te diga que está bien.

» **Algunos ejemplos de molestias u otros síntomas físicos que pueden incitar a dejar de usarlo son:**

- Malestar o dolor, sobre todo en la cabeza, los ojos, los hombros, el cuello, la espalda o el pecho
- Convulsiones, pérdida del conocimiento o movimientos involuntarios

(personas, mascotas, objetos) entrar o salir de tu zona de actividad. Un límite virtual puede no alertarte lo suficientemente rápido si te estás moviendo con rapidez. Establece tus límites para que protejerte en función del contenido y el movimiento que pienses utilizar.

- El sistema de límites virtuales no tiene sobre la cabeza, así que elige espacios de actividad sin riesgos sobre la cabeza.

» **ADVERTENCIA** Establecer espacios extra de seguridad. Si estableces tus límites virtuales justo al lado de un elemento peligroso, podrías golpear o tocar dicho peligro. Mantén un espacio extra de seguridad de unos 30 a 60 cm más allá del límite virtual, en función de la actividad, el espacio que tengas disponible y la longitud de tus brazos.

- Si utilizas las manos en lugar de los controladores, es posible que los límites virtuales y otras alertas no funcionen si no tienes las manos dentro de la vista limitada de tus sensores Passthrough.

» **Realidad mixta.** Ver e interactuar con objetos o superficies físicas externas (como un sofá, una pared, una mesa, un teclado o un escritorio) mientras utilizas tu Meta Quest se denomina «realidad mixta». Meta Quest te permite ver un vídeo en directo de tu entorno físico a través de los sensores del visor. Con la realidad mixta, puedes ver objetos virtuales superpuestos a la vista de tu entorno físico. Por ejemplo, una aplicación puede permitirte ver un tablero de ajedrez virtual encima de tu mesa de café. En otros casos, los objetos físicos pueden estar cubiertos o imitados por objetos virtuales. Por ejemplo, una aplicación puede permitirte poner un escritorio virtual encima de tu escritorio real, de modo que puedas ver y utilizar tu escritorio mientras estás en una aplicación totalmente inmersiva.

Marcado de objetos e identificación de objetos. Cuando marcas dónde están los objetos físicos,

15

- Mareo (» **Mareo**), mareo, desorientación, alteración del equilibrio o de la coordinación mano-ojo; sudoración inusual; aumento de la salivación; náuseas; sensación de desmayo o aturdimiento
- Tensión ocular, espasmos oculares o musculares, visión alterada, borrosa o doble u otras anomalías visuales
- Falta de aliento o palpitaciones
- Sensación de cansancio
- Presión o rozaduras, picor o irritación, cambios duraderos en el aspecto de la piel, hinchazón o pérdida inusual de vello u otras molestias cutáneas

» **El mareo** (mareo inducido visualmente, o VIMS, por sus siglas en inglés) puede surgir en relación con el uso de Meta Quest. Cuando ocurra debe ser temporal. La selección de contenidos, las pausas y las sesiones más cortas pueden ayudarte a reducir el mareo.

» **Selección de aplicaciones y contenidos;**

» **Duración de la sesión y pausas**

Duración de la sesión y pausas

» **ADVERTENCIA** El uso prolongado sin las pausas adecuadas puede aumentar el riesgo de lesiones, molestias, efectos adversos o daños materiales. Quitate el visor y deja de usarlo si sientes molestias y no vuelvas a usarlo hasta que desaparezcan.

- Asegúrate de que su uso no interfiere con las actividades de la vida diaria.



» **Tiempo y pausas.** Haz descansos regulares cuando utilices tu Meta Quest. Empieza con sesiones de uso cortas y descansos largos cuando utilices un visor o un contenido nuevos. Por ejemplo, cuando empieces a utilizar Meta Quest empieza con un periodo máximo de uso de 30 minutos seguido de un descanso de 15 minutos. Aumenta la cantidad

18

17

de tiempo que utilizas Meta Quest gradualmente, a medida que te acostumbras a la experiencia. Diferentes personas pueden necesitar diferentes duraciones de sesión y descanso. Aumenta la cantidad de tiempo que utilizas Meta Quest gradualmente, a medida que te acostumbras a la experiencia. Diferentes personas pueden necesitar diferentes duraciones de sesión y descanso.

Orientaciones y limitaciones sobre el uso por parte de niños

Los padres deben leer y explicar esta sección a sus hijos, junto con **» No todos los niños están preparados para usar Meta Quest.**

- **Desarrollo infantil y contenidos virtuales.** Los niños que utilizan contenidos y sistemas virtuales se enfrentan a algunos riesgos, sobre todo los niños de menor edad o tamaño. Garantizar un ajuste adecuado (**» Conseguir el ajuste adecuado**) puede reducir algunos de estos riesgos.
- **Edad mínima para crear una cuenta.**
- **Tamaño corporal, fuerza y patrones de movimiento.** Los niños suelen tener la cabeza más pequeña y menos fuerza en el cuello que los adultos. Cuanto más pequeño o joven sea el niño, más pesado le parecerá el visor. Esto significa que el movimiento, sobre todo el del cuello, requiere más esfuerzo para estos niños en comparación con los adultos. Además, los niños tienden a utilizar todo el cuerpo mientras están en contenidos virtuales, lo que podría provocar tensiones en el cuello, la espalda y las piernas, sobre todo tras un uso intenso o prolongado.
- **Ojos.** La distancia entre las pupilas de un niño (llamada distancia interpupilar o DIP) puede ser menor que la distancia entre las partes de las lentes de tu visor que ayudan a enfocar (llamada distancia interaxial o DIA).

19

Si las lentes no pueden ajustarse a la medida de tu hijo (**» Conseguir el ajuste adecuado**), existe un mayor riesgo de que aparezcan síntomas como fatiga visual, visión borrosa, dolores de cabeza o náuseas. El sistema visual de los niños más pequeños aún está en desarrollo y puede verse afectado negativamente por el uso de contenidos virtuales.

- **Convulsiones.** Los trastornos convulsivos subyacentes pueden descubrirse con el uso de contenidos virtuales por parte de los niños. **» Riesgo de ataques y convulsiones**
- **Comprender la realidad.** Los niños más pequeños pueden tener dificultades para comprender que las experiencias virtuales no ocurren en el mundo físico. Pueden responder tanto física como psicológicamente en función de lo que experimenten en el mundo virtual.

Supervisar y garantizar el uso adecuado

- Debe evitarse el uso prolongado por parte de niños, ya que podría afectar negativamente a la coordinación ojo-mano, el equilibrio, la capacidad de realizar varias tareas a la vez, o provocar otros riesgos de lesión o efectos negativos.
- Limita el tiempo que los niños pasan utilizando Meta Quest en general. Considera la posibilidad de establecer límites diarios y semanales.
- Asegúrate de que los niños hagan pausas durante el uso. Los niños más pequeños deben hacer pausas más frecuentes y largas.
- **Duración de la sesión y pausas**
- Asegúrate de que el uso que hacen los niños es adecuado en cuanto a selección de contenidos y duración de las sesiones, y no interfiere con sus actividades de la vida diaria.
- Es posible que los niños no tracen correctamente los límites virtuales y que no se mantengan dentro de ellos al utilizar contenidos virtuales. Los padres deben ayudar a sus hijos a trazar

20

límites virtuales (ayudando a mover muebles si es necesario) y asegurarse de que se mantienen en ellos.

■ **Las funciones de tiempo de pantalla** están disponibles en el Centro Familiar Meta, donde puedes controlar y elegir las selecciones de contenidos de los niños y su duración.

Selecciona el contenido adecuado

Los adultos deben participar activamente en la selección de aplicaciones y contenidos para los niños.

- Evita exponerlos a contenidos inapropiados.

■ **Los niños y el contenido.** El contenido virtual es una experiencia inmersiva y algunas aplicaciones pueden llegar a ser intensas, violentas, provocar miedo o ansiedad. La realidad mixta también puede provocar reacciones intensas. Los niños más pequeños pueden confundir los mundos virtual y físico al utilizar contenidos virtuales. Algunas aplicaciones o contenidos pueden ser inapropiados para los niños. **» Selección de aplicaciones y contenidos**

- Los contenidos que requieren mucho movimiento de cabeza/cuello y cuerpo pueden ser complicados para los niños. Para los niños de menor tamaño, elige contenidos en los que tengan que estar sentados o de pie que requieran pocos movimientos rápidos de cabeza/cuello/cuerpo. Utiliza la información disponible en la Meta Quest Store para elegir contenidos adecuados a sus capacidades físicas y a su nivel de experiencia de juego.
- Vigila a los niños para detectar signos de tensión o lesiones en el cuello o en el cuerpo, como dolor o rigidez. Si se producen, plantéate elegir contenidos menos desafiantes, acortar la duración de la sesión y que se tomen un día o más de descanso. Si las molestias persisten, consulta a un médico.

21

⚠ ADVERTENCIA Es más probable que se produzcan efectos negativos sobre la visión en los niños más pequeños, en etapas más tempranas de su desarrollo, o de menor tamaño, como consecuencia de una mala adaptación y ajuste de las lentes o de un uso repetido y prolongado. Estos efectos pueden ser, dificultad para enfocar, fatiga visual, dolores de cabeza o cansancio.

» Desarrollo infantil y contenidos virtuales

- Asegúrate de que Meta Quest se ajusta correctamente a tu hijo, con el mejor ajuste de visión posible, y de que toma descansos frecuentes. **» Conseguir el ajuste adecuado**

Los niños más pequeños pueden ser más susceptibles de sufrir daños auditivos asociados al uso de Meta Quest con un volumen alto.



Tu Meta Quest

⚠ ADVERTENCIA Hardware y software o accesorios no autorizados: Meta Quest no está diseñado para usarlo con ningún dispositivo, accesorio, software ni aplicación no autorizados. El uso de cualquiera de ellos o la modificación o pirateo del sistema Meta Quest, del software o las aplicaciones puede provocarte lesiones a ti o a otros, molestias, daños materiales, problemas de funcionamiento o daños en tu Meta Quest que la garantía puede no cubrir.

■ Accesorios y piezas de repuesto.

- Meta Quest Store ofrece las piezas de repuesto y accesorios necesarios y también autoriza las piezas de repuesto y accesorios necesarios para tu Meta Quest.
- Para saber cómo identificar si un accesorio o pieza de repuesto está autorizado para su uso con tu Meta Quest, visita meta.com/help/quest/authorizedparts.
 - Los accesorios de marca y autorizados pueden ayudarte a personalizar Meta Quest según tus preferencias.

22

Cuidado y manejo de Meta Quest

⚠ ADVERTENCIA No utilices Meta Quest si alguna parte está rota o dañada. Ponte en contacto con el servicio de asistencia de Meta Quest para obtener ayuda en meta.com/help/quest.



- No desmontes, aplastes, dobles, deformes, perforas, rompas ni ejerzas una presión elevada sobre el visor o los controladores. Esto puede causar una fuga o un cortocircuito interno en las baterías y provocar un sobrecalentamiento.
- Evita dejar caer tu Meta Quest. Las caídas pueden dañar el visor, los controladores y las baterías. Inspecciona el sistema Meta Quest antes de cada uso para ver si hay daños aparentes.
- No coloques el Meta Quest zonas que puedan calentarse mucho, como dentro de un coche a temperaturas elevadas, encima o cerca de una superficie de cocina, un aparato de cocina, una plancha o un radiador, ni bajo la luz directa del sol. Un calentamiento excesivo puede dañar tu Meta Quest y puede hacer que las baterías exploten. No seques el Meta Quest si se ha mojado o está húmedo con un aparato o fuente de calor como un horno microondas, un secador de pelo, una plancha o un radiador.
- No coloques ninguna parte de Meta Quest debajo de una almohada, manta, ropa o parte de tu cuerpo. Asegúrate siempre de que el visor, el adaptador de corriente y los controladores tengan una ventilación y un flujo de aire adecuados mientras los estás usando o cargando. Cubrir el visor o los controladores con materiales que afecten significativamente al flujo de aire puede afectar al rendimiento o provocar lesiones o daños materiales.
- No dejes que el Meta Quest se moje o entre en contacto con líquidos. Aunque el Meta Quest se pueda secar y parezca funcionar con normalidad, los contactos de la batería o los circuitos podrían empezar a corroerse lentamente y suponer un peligro para la seguridad.

23

- Una manipulación brusca o un almacenamiento inadecuado podrían provocar fracturas en las lentes o los paneles de vidrio de la parte delantera de tu Meta Quest, lo que podría representar un riesgo de cortes.
- Inspecciona periódicamente tu Meta Quest por si existe algún daño (incluyendo las siguientes piezas) y no lo uses si ves o sospechas que hay algún daño:
 - El visor (incluidas las lentes)
 - Componentes eléctricos (incluidos los contactos y puertos de carga)
 - Controladores
 - Otros accesorios, incluidos originalmente con tu Meta Quest o no
- No intentes reparar ninguna parte del sistema Meta Quest por tu cuenta. Para obtener más información, ponte en contacto con el servicio de asistencia de Meta Quest.
- Con el fin de evitar que se dañe el sistema Meta Quest, no lo expongas a humedad, a una humedad ambiente elevada, a altas concentraciones de polvo o partículas en suspensión en el aire, a temperaturas fuera del rango de funcionamiento de 0 to 35 °C o a la luz solar directa.

■ **Luz solar directa.** La luz solar directa sobre las lentes puede dañar o degradar tu Meta Quest, incluyendo la óptica y la pantalla.

- Para evitar daños, mantén tu Meta Quest alejado de mascotas.
- Mantén limpias todas las partes de tu Meta Quest, limpiándolas regularmente siguiendo las instrucciones disponibles en el servicio de asistencia de Meta Quest.
- Una limpieza inadecuada puede dañar tu Meta Quest y dificultar su funcionamiento, incrementando el riesgo de lesión o daños materiales.

24

Alertas del sistema

⚠ ADVERTENCIA Actúa inmediatamente si te avisan las siguientes alertas del sistema:

⚠ Alerta de sobrecalentamiento.
Las alertas acústicas y visuales pueden indicar que el visor se está sobrecalentando. Quitate inmediatamente el visor y deja que se enfríe antes de seguir utilizándolo.

⚠ Alerta de volumen del sonido.
Puede aparecer una alerta visual si el nivel de volumen es demasiado alto. Baja el volumen del sonido para reducir el riesgo de pérdida auditiva.

Alerta de error de seguimiento.
Una alerta visual puede indicar que el sistema de seguimiento de tu visor o los límites virtuales no funcionan correctamente o pueden estar desactivados. Quitate el visor y vete a un espacio seguro. A continuación, sigue las instrucciones proporcionadas en tu visor para solucionar este problema.

Baterías, carga y temperatura

Baterías y carga

⚠ ADVERTENCIA El visor contiene una batería recargable de iones de litio. Cárgalas sólo de acuerdo con estas advertencias y otras instrucciones. Los controladores pueden incluir baterías AA reemplazables por el usuario. El uso de un Meta Quest dañado o el uso inadecuado de las baterías o del adaptador de corriente puede provocar un incendio, una explosión, una fuga de las pilas, un sobrecalentamiento u otro peligro y provocar lesiones graves o daños materiales. No cargue ni utilice el visor o los controladores si conoce o sospecha que alguno de ellos está dañado.

Si hay fugas de líquido de la batería, no permitas que el líquido entre en contacto con la piel o los ojos. Si se produce el contacto, lávate la zona afectada con abundante agua y pide consejo médico.

- No intentes cargar o utilizar el visor o los controladores si no se encienden después

25

de intentar cargarlos, si se calientan de forma anómala tras usarlos o cargarlos o si el compartimento de las baterías está hinchado, gotea o desprende humo.

- Sustitución
 - **Visor.** La batería recargable de iones de litio del visor no puede ser sustituida ni reparada por el usuario. No intente acceder a la batería, abrirla, repararla ni sustituirla.
 - **Controladores.** Las baterías AA en los controladores son reemplazables por el usuario. No intente abrir o modificar las baterías. No mezcle baterías AA viejas y nuevas; sustitúyalas todas al mismo tiempo.
 - Las baterías gastadas pueden tener fugas y dañar los controladores. Retire rápidamente las baterías gastadas. Retire las baterías antes de guardarlas o de dejar de utilizarlas durante un tiempo prolongado. Recicle o deseche las baterías usadas inmediatamente.
- Ponte en contacto con el servicio de asistencia de Meta Quest si necesitas ayuda con las baterías o la gestión de energía de tu Meta Quest.
- » **Cuidado y manejo de Meta Quest**
- No utilices baterías externas o fuentes de alimentación que no sean las autorizadas por Meta Quest. » **Hardware y software o accesorios no autorizados**
- No tires el Meta Quest al fuego o a un incinerador, ya que las baterías podrían explotar al sobrecalentarse. No lo almacenes ni lo tires a la basura general.

⚠ Manipulación incorrecta a evitar.

Lo siguiente podría provocar fallos en la batería u otros fallos eléctricos en tu Meta Quest (» **Cuidado y manejo del Meta Quest**):

- Desmontar, aplastar, doblar, deformar, perforar.
- Exponer a altas temperaturas o a fuentes de calor.
- Exposición a líquidos.
- Caídas.
- Carga o utiliza el dispositivo si no se enciende tras intentar cargarlo.

26

Temperatura

⚠ ADVERTENCIA Comprueba periódicamente la temperatura del visor y los controladores para evitar quemaduras o molestias.



■ El visor, los controladores, la base de carga y el adaptador de corriente cumplen con los límites aplicables de las normas del sector sobre la temperatura estándar en las superficies. Algunos puntos de contacto, incluidas las superficies frontales, pueden estar calientes. Esto es normal durante el uso o la carga.

- El contacto prolongado de la piel con una superficie caliente de el visor, los controladores o (cuando están enchufados) el adaptador de corriente puede producir molestias en la piel, enrojecimiento o quemaduras de baja temperatura. Si notas que el visor, los controladores o el adaptador de corriente están calientes hasta el punto de resultar incómodo, deja de usarlos o cárgalos y déjalos enfriar.
- Si tienes alguna afección médica o física especial que disminuya la capacidad de detectar el calor en la piel debes tener especial cuidado al utilizar el dispositivo o al cargarlo con el adaptador de corriente. Sigue las advertencias o los avisos térmicos que puedan aparecer en la pantalla del visor.
- » **Alertas del sistema**

Mantén limpios los puntos de carga y el cable

⚠ ADVERTENCIA Con el fin de evitar el sobrecalentamiento, mantén los siguientes puntos de carga eléctricos limpios y secos:

- puerto y contactos de carga del visor,
- puerto de los auriculares, y
- adaptador de corriente, base y cables de carga autorizados.

Revisa periódicamente estos puntos de carga para asegurarte de que no muestran signos de corrosión o daños. Deja de usar el sistema y ponte en contacto con el servicio de asistencia

27

de Meta Quest si puedes apreciar signos de corrosión/daños o tiene sospechas.

Descarga eléctrica

⚠ ADVERTENCIA Para reducir el riesgo de una descarga eléctrica:

- No modifiques ni abras ninguno de tus componentes de Meta Quest.
- No cargues el sistema Meta Quest si cualquiera de las partes suministradas o los cables autorizados o el adaptador de corriente están sucios, rotos, con cables a la vista o si el compartimento de las baterías está dañado.
- No insertes ningún objeto metálico, conductor o extraño en la toma de carga, cables de carga o base de carga.
- No expongas tu Meta Quest al agua u otros líquidos.
- Utiliza únicamente bases de carga, cables y adaptadores de corriente autorizados con tu Meta Quest.

Lesiones por una tensión recurrente

⚠ ADVERTENCIA El uso del sistema de Meta Quest puede provocar dolor en los músculos, las articulaciones, el cuello, las manos o la piel. Si se te cansa o te duele alguna parte del cuerpo mientras usas el sistema Meta Quest, o si sientes síntomas como hormigueo, entumecimiento, ardor o rigidez, para y descansa al menos hasta que hayan desaparecido los síntomas. Si sigues teniendo síntomas durante o después del uso, deja de usarlo. Si los síntomas persisten, consulta a un médico.

Pérdida auditiva

⚠ ADVERTENCIA No utilices niveles de volumen altos durante periodos prolongados para evitar posibles daños auditivos permanentes. » **Alertas del sistema**

28

Enfermedades contagiosas

⚠ ATENCIÓN Para evitar la transmisión de enfermedades contagiosas, las personas con enfermedades contagiosas, especialmente infecciones o afecciones, en particular, sobre todo de los ojos (como la conjuntivitis), la piel o el cuero cabelludo no deben compartir un Meta Quest.

Láser

⚠ ADVERTENCIA Tu visor es un producto láser de Clase 1. No intentes desmontar el visor. Intentar modificar el visor o los láseres puede provocar una exposición peligrosa a las radiaciones. » **Información normativa y cumplimiento**

No es un producto sanitario

⚠ AVISO El sistema Meta Quest no es un producto sanitario, y su propósito no es diagnosticar, tratar, curar o prevenir ninguna enfermedad.

INFORMACIÓN DE CUMPLIMIENTO Y REGLAMENTACIÓN

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Visor
Número de modelo: S3A
Potencia de entrada: 9,0V ~ 3,0A
Controladores
Número de modelo: V6P (izquierdo), S2Y (derecho)
Potencia de entrada: 1,5V
Las indicaciones regulatorias de cumplimiento se sitúan en las correas del visor.

PRODUCTO LÁSER DE CLASE 1 PARA CONSUMIDORES EN 50689:2021

Información del láser de Clase 1

Este producto ha sido clasificado como láser de clase 1 por la IEC 60825-1 Ed.3 (2014).

ATENCIÓN - El ajuste de los controles u otros procedimientos de funcionamiento diferentes a los especificados aquí pueden dar lugar a exposiciones peligrosas de radiación.

29

Este aparato debe ser reparado por Meta Platforms Technologies LLC o por un proveedor de servicios autorizado.



INFORMACIÓN REGULATORIA - UE

Meta Platforms Technologies, LLC declara que este producto cumple con los requisitos esenciales y las demás disposiciones pertinentes de la Directiva 2014/53/UE. Para leer la declaración completa de conformidad, visita meta.com/legal/quest/compliance/.

! AT, BE, BG, HR, CY, CZ, DK, EE, FI, FR, DE, EL, HU, IE, IT, LV, LT, LU, MT, NL, PL, PT, RO, SK, SI, ES, SE, UK(NI), CH, LI, NO, TR, IS

Este dispositivo está restringido a su uso en interiores cuando se utilice en el rango de frecuencia entre 5,150 y 5,350 GHz.

El uso de este dispositivo está restringido a espacios interiores al operar en rangos de frecuencia de 5,925-6,425 GHz, incluyendo trenes con ventanas con revestimiento metálico y aeronaves. Su uso no está permitido para espacios exteriores, incluyendo los vehículos de carretera.

Consumo de energía

Modo	Consumo de energía (en vatios)
Modo de espera en red*	< 2 vatios

Nota: * Por defecto, el sistema entra automáticamente en el modo de espera en red después de aproximadamente 15 minutos de inactividad (sin interacción del usuario).

30

Método para activar y desactivar los puertos de red inalámbrica

Wi-Fi: Activar o desactivar mediante el botón Wi-Fi que se encuentra en el menú Ajustes.

Especificaciones del adaptador de corriente

Nombre del fabricante para la fuente de alimentación externa:	Meta Platforms Technologies, LLC
Dirección:	1 Hacker Way, Menlo Park, CA 94025, USA
Identificador del modelo:	MA0120 (UE), MA0121 (UK)
Voltaje de entrada:	100-240 VAC
Frecuencia de entrada:	50-60 Hz
Voltaje de salida:	5V, 9V
Corriente de salida:	3A (5V), 2A (9V)
Potencia de salida:	18W
Eficiencia activa media:	84,04% (5V), 87,04% (9V)
Eficiencia con carga baja (10 %):	80,93% (5V), 80,81% (9V)
Consumo de corriente sin carga:	31mW

Bandas de radiofrecuencia y potencia de radiofrecuencia máxima

Visor: Wi-Fi (2400-2483.5 MHz: <20 dBm;
5150-5250 MHz: <23 dBm; 5250-5350 MHz:
<20 dBm; 5470-5725 MHz: <20 dBm;
5725-5850 MHz: <14 dBm; 5925-6425 MHz:
<23 dBm); GFSK (2402-2478 MHz: <14 dBm);
Bluetooth (2402-2480 MHz: <15 dBm)
Controladores: GFSK (2402-2478 MHz: < 13 dBm)

Información sobre la exposición a radiofrecuencia

Este dispositivo cumple con los requisitos de la UE (1999/519/EC) y las directrices de la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) en lo que se refiere a la limitación de la exposición del público en general a los campos electromagnéticos a efectos de protección de la salud.

INFORMACIÓN DE LA GARANTÍA LIMITADA

Puede consultar la garantía limitada en meta.com/legal/limited-warranty o solicitarla escribiendo a la dirección indicada a continuación

meta.com/help/quest

