



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un escenario virtual interactivo para instrucción militar
básica en Seguridad Interior*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Lucas Rodríguez Castillo

DIRECTORES: Xavier Núñez Nieto

Francisco Troncoso Pastoriza

CURSO ACADÉMICO: 2025-2026

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un escenario virtual interactivo para instrucción militar
básica en Seguridad Interior*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

La evolución de las tecnologías digitales de última generación ha impulsado la integración del ámbito virtual en las Fuerzas Armadas. En este contexto, la simulación se ha convertido en una herramienta clave para mejorar la eficacia, preparación y seguridad de las dotaciones de los buques, especialmente en entornos complejos y de alto riesgo. Este trabajo presenta el desarrollo de un simulador virtual interactivo de Seguridad Interior a bordo de buques de la Armada, concebido como una plataforma de entrenamiento y evaluación del personal. El proyecto consiste en la creación de un entorno tridimensional de alta fidelidad capaz de recrear situaciones de emergencia y escenarios operativos relacionados con incidencias de Seguridad Interior. Mediante técnicas avanzadas de diseño y modelado se ha desarrollado un escenario interactivo que permite reproducir procedimientos y trabajar la toma de decisiones en situaciones críticas. Además, mediante la programación con Blueprints se implementa una lógica interactiva que gestiona el comportamiento de los elementos del escenario y la respuesta del sistema ante las acciones del usuario. Finalmente, el simulador incorpora un sistema de evaluación que permite analizar el desempeño del usuario durante la ejecución del ejercicio, proporcionando información útil para la mejora continua del entrenamiento y la optimización de los procedimientos operativos.

PALABRAS CLAVE

Simulación virtual, Seguridad Interior, Gamificación, Adiestramiento militar, Unreal Engine

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis tutores, Xavier Núñez Nieto y Francisco Troncoso Pastoriza, por su guía, dedicación y apoyo constante a lo largo de todo el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado. Su conocimiento, disponibilidad y criterio han sido fundamentales para orientar el proyecto en la dirección adecuada y superar las dificultades encontradas durante el proceso. Gracias por su implicación y por exigirme siempre dar lo mejor de mí.

En este sentido, quiero expresar mi agradecimiento al Cabo 1º Alberto Pérez, técnico de laboratorio del Centro Universitario de la Defensa, por su disposición, apoyo y colaboración durante el desarrollo del trabajo.

En segundo lugar, quiero dar las gracias a mi familia, y de manera muy especial a mis padres, a mi hermana Carla y a mis abuelos, por su apoyo incondicional durante todos estos años. Han sido un pilar fundamental, no solo en este trabajo, sino en todo mi recorrido académico y personal. Su esfuerzo, paciencia y confianza en mí han hecho posible que llegue hasta aquí. Gracias por estar siempre presentes, por animarme en los momentos difíciles y por enseñarme el valor del trabajo y la constancia.

Asimismo, quiero dedicar unas palabras especiales a Montse, Carlos y a mi familia de Marín, quienes han sido un apoyo constante a lo largo de estos cinco años. Su cercanía, ánimo y confianza en todo momento han sido fundamentales para superar las dificultades y alcanzar los objetivos propuestos. Gracias a ellos, he podido poner fin a esta etapa con éxito.

También quiero agradecer a mi novia, María, por su apoyo y comprensión durante este tiempo. Su presencia ha sido importante en los momentos de mayor carga de trabajo, aportando calma y equilibrio cuando más lo necesitaba. Gracias por estar ahí y por acompañarme en este proceso.

Por último, quiero mencionar a mis compañeros. Gracias por los momentos vividos, el apoyo mutuo y el compañerismo, que han hecho que este camino haya sido más llevadero y enriquecedor.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	9
1 Introducción y objetivos	11
1.1 Descripción del apartado.....	11
1.2 Antecedentes	11
1.3 Justificación	12
1.4 Objetivos	13
1.5 Estructura del trabajo	13
2 Estado del arte	15
2.1 Descripción del apartado.....	15
2.2 Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID).....	15
2.2.1 Política de I+D+i del MINISDEF.....	15
2.2.2 Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación.	16
2.3 La Seguridad Interior	17
2.3.1 Conceptos militares	18
2.3.2 Etapas de Seguridad Interior	21
2.3.3 Contraincendios.....	24
2.3.4 Control de averías.....	28
2.3.5 Defensa NBQR.....	30
2.4 Simulación de Seguridad Interior	31
2.4.1 Conceptos generales	31
2.4.2 Simuladores de Seguridad Interior en la Armada.....	32
2.4.3 La simulación virtual en Seguridad Interior.....	34
2.5 Software y equipo	36
2.5.1 Software.....	36
2.5.2 Equipo y material empleado	38
3 Desarrollo	41
3.1 Descripción del apartado.....	41
3.2 El escenario y aplicación.....	42
3.2.1 Aplicación del simulador.....	42
3.2.2 Selección del entorno	42
3.2.3 Distribución del escenario virtual.....	44
3.2.4 Métodos de formación y evaluación.....	45

3.3	Diseño y modelado.....	46
3.3.1	Creación del proyecto.....	46
3.3.2	Adquisición de bibliotecas de actores	53
3.3.3	Caracterización del personaje.....	54
3.3.4	Diseño básico del entorno	59
3.3.5	Diseño y construcción de edificios.....	62
3.4	Programación y código	87
3.4.1	Concepto general de la programación	87
3.4.2	Tipos de Blueprints y características	88
3.4.3	Tipos de nodos.....	90
3.4.4	Variables en Blueprints	92
3.4.5	Configuración del personaje.....	94
3.4.6	Configuración de los edificios.....	98
3.4.7	Configuración Widget Test	104
3.4.8	Configuración del mando de control	118
3.4.9	Interacción personaje - escenario	118
3.4.10	Generación de imágenes panorámicas.....	119
4	Resultados.....	123
4.1	Descripción del apartado.....	123
4.2	Escenario general	123
4.2.1	Sistema de evaluación y puntuación.....	124
4.3	Diseño y programación	125
4.3.1	Caracterización del personaje.....	126
4.3.2	Diseño general del entorno	127
4.3.3	Estructuración del escenario.....	128
4.3.4	Configuración Widget Test	134
4.3.5	Simulación con mando de control	137
4.3.6	Visualización 360° del escenario	139
5	Conclusiones y líneas futuras	143
5.1	Descripción del apartado.....	143
5.2	Conclusiones	143
5.2.1	Conclusiones previas	143
5.2.2	El escenario	144
5.2.3	Diseño y modelado	144
5.2.4	Programación.....	144
5.2.5	Gamificación	144

5.2.6 Conclusión final.....	145
5.3 Líneas futuras	145
5.3.1 A corto plazo	145
5.3.2 A largo plazo	146
6 Bibliografía.....	147
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	151
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	153
Anexo III: Banco de Preguntas Empleadas en el Simulador.....	155
Anexo IV: Declaración de Uso de Inteligencia Artificial	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Revoluciones industriales [3]	11
Figura 1-2 La Seguridad Interior y NBQR como aporte a la supervivencia de la unidad [8]	12
Figura 2-1. Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa [4]	16
Figura 2-2 Manual Doctrinario de Seguridad Interior a bordo [9]	18
Figura 2-3 Capacidad operativa frente a tiempo [9]	20
Figura 2-4 Integración efectiva de las capacidades de un buque [9]	21
Figura 2-5 Ejercicio de Seguridad Interior en la cubierta del patrullero Arnomendi [10]	22
Figura 2-6 Evacuación MEDEVAC en la fragata F-101 Álvaro de Bazán [15]	22
Figura 2-7 Elementos que afectan a la estabilidad de un buque [16]	23
Figura 2-8 Tetraedro del fuego [18]	24
Figura 2-9 Etapas de desarrollo de un incendio [9]	25
Figura 2-10 Acciones iniciales del descubridor [9]	26
Figura 2-11 Esquema básico toma de decisiones [9]	27
Figura 2-12 Fragata Helge Ingstad tras colisionar contra un petrolero [20-21]	28
Figura 2-13 Diversos servicios de achique fijo a bordo [9]	29
Figura 2-14 Ejemplo de un apuntalamiento con las piezas que lo constituyen [23]	30
Figura 2-15 Esquema de posibles causas de incidentes NBQR [24]	31
Figura 2-16 Ejercicio contraincendios en operaciones de vuelo en el CASI de BNR [35]	33
Figura 2-17 Vista frontal del adiestrador de contraincendios [6]	34
Figura 2-18 CESIGEM del SST Training Center de Sevilla [36]	35
Figura 2-19 Software empleados en el proyecto (Autoría propia)	36
Figura 2-20 Interfaz principal de Epic Games (Autoría propia)	36
Figura 2-21 Cómo crear un proyecto nuevo en Unreal Engine 5.7 (Autoría propia)	37
Figura 2-22 Interfaz principal de Fab (Autoría propia)	38
Figura 2-23 Espacio de trabajo empleado en el proyecto (Autoría propia)	38
Figura 2-24 Xbox <i>controller</i> (Autoría propia)	39
Figura 3-1 Etapas del trabajo (imagen generada por IA (ChatGPT 5.2))	41
Figura 3-2 Vista aérea del CISI (2017) [10]	43
Figura 3-3 Vista aérea del escenario virtual y sus zonas (Autoría propia)	44
Figura 3-4 Imagen general del escenario virtual (Autoría propia)	45
Figura 3-5 Plantillas iniciales de la categoría "Games" de Unreal Engine 5.7 (Autoría propia)	47
Figura 3-6 Configuración inicial del proyecto (Autoría propia)	48
Figura 3-7 Interfaz de trabajo empleada durante el proyecto (Autoría propia)	49
Figura 3-8 Barra de herramientas superior (Autoría propia)	50

Figura 3-9 Opciones rápidas del nivel actual (Autoría propia)	50
Figura 3-10 Widgets de edición (Autoría propia)	50
Figura 3-11 Explorador de contenido (Autoría propia).....	51
Figura 3-12 Esquematizador y efectos visuales (Autoría propia)	52
Figura 3-13 Ventana Detalles de Unreal Engine 5 (Autoría propia).....	52
Figura 3-14 Ventana colocación de actores (Autoría propia)	53
Figura 3-15 Pasos para añadir bibliotecas de actores (Autoría propia).....	53
Figura 3-16 Biblioteca de actores contraincendios (Autoría propia)	54
Figura 3-17 Acceso a Quixel Bridge desde UE5 (Autoría propia)	55
Figura 3-18 Biblioteca de MetaHuman en Quixel Bridge (Autoría propia)	56
Figura 3-19 Organización en carpetas de MetaHuman (Autoría propia).....	56
Figura 3-20 Biblioteca de assets adquiridos de Fab (Autoría propia)	57
Figura 3-21 Integración del traje al MetaHuman Character (Autoría propia)	58
Figura 3-22 <i>BP_Lucas_Personaje</i> (Autoría propia)	58
Figura 3-23 Traje NRBQ (Autoría propia).....	59
Figura 3-24 Materiales empleados en el terreno (Autoría propia)	60
Figura 3-25 <i>HDRI Backdrop</i> (Autoría propia)	61
Figura 3-26 Proceso para la configuración del Lumen (Autoría propia)	62
Figura 3-27 Ajuste colisión de una escalera (Autoría propia).....	63
Figura 3-28 Lógica Blueprints de interacción con puertas (Autoría propia).....	64
Figura 3-29 Abastecimiento de agua y gas (Autoría propia)	65
Figura 3-30 Sistema de ventilación (Autoría propia)	66
Figura 3-31 Empleo de <i>Point Light</i> y <i>Spot Light</i> en el escenario (Autoría propia).....	66
Figura 3-32 Sistemas de partículas para fuego y humo (Autoría propia).....	67
Figura 3-33 Sistema de partículas para agua (Autoría propia).....	68
Figura 3-34 Actores empleados para el diseño de carteles (Autoría propia)	68
Figura 3-35 Nodo para introducir una textura en un material (Autoría propia).....	69
Figura 3-36 Proceso de creación de un cartel (Autoría propia).....	69
Figura 3-37 Zona inicial (Autoría propia)	71
Figura 3-38 Medios de extinción de la zona inicial (Autoría propia)	71
Figura 3-39 Modelo de cartel informativo de la zona inicial (realizado con IA).....	72
Figura 3-40 Clases de incendios en zona inicial (Autoría propia)	72
Figura 3-41 Edificio contraincendios "Xavier Núñez" (Autoría propia)	73
Figura 3-42 Edificio auxiliar contraincendios (Autoría propia).....	74
Figura 3-43 Compartimentos del edificio contraincendios "Xavier Núñez" (Autoría propia)	75
Figura 3-44 Pañol de munición y despensa de alimentos (Autoría propia)	75

Figura 3-45 Compartimento máquinas con rollover (Autoría propia)	76
Figura 3-46 Central de Seguridad Interior (Autoría propia)	77
Figura 3-47 Edificio Contraincendios "Escuela Naval Militar" (Autoría propia).....	78
Figura 3-48 Parrillas edificio "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)	78
Figura 3-49 Humos e incendios del edificio "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)	79
Figura 3-50 Zona superior edificio "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)	79
Figura 3-51 Parrillas prácticas contra incendios (Autoría propia)	80
Figura 3-52 Anteproyecto Navantia (Escuela de Especialidades "Antonio de Escaño").....	81
Figura 3-53 Edificio Control de Averías "Francisco Troncoso" (Autoría propia).....	81
Figura 3-54 Espacio para prácticas de apuntalamiento (Autoría propia)	82
Figura 3-55 Cubierta principal del edificio "Francisco Troncoso" (Autoría propia)	83
Figura 3-56 Cubierta intermedia edificio "Francisco Troncoso" (Autoría propia)	83
Figura 3-57 Cubierta superior edificio "Francisco Troncoso" (Autoría propia)	84
Figura 3-58 Estación de descontaminación NRBQ (Autoría propia).....	85
Figura 3-59 Zonas de la estación de descontaminación (Autoría propia)	85
Figura 3-60 ACC Material y ACC Personal (Autoría propia)	86
Figura 3-61 Carteles identificativos estación descontaminación (Autoría propia)	86
Figura 3-62 Zona instrucción en defensa NRBQ (Autoría propia)	87
Figura 3-63 Organización del Blueprint de nivel (Autoría propia).....	88
Figura 3-64 Selección clase de BP y sus clases padre (Autoría propia)	89
Figura 3-65 Blueprint de widget para realización de preguntas (Autoría propia).....	90
Figura 3-66 Nodos de evento (Autoría propia)	90
Figura 3-67 Nodos de función (Autoría propia).....	91
Figura 3-68 Nodos de control de flujo (Autoría propia)	91
Figura 3-69 Nodo de proyección (Autoría propia).....	92
Figura 3-70 Tipos de variables más empleadas (Autoría propia).....	92
Figura 3-71 Nodos <i>Set</i> y <i>Get</i> de variables (Autoría propia).....	93
Figura 3-72 Nodos tipo <i>Map</i> (Autoría propia)	93
Figura 3-73 Lógica predefinida <i>Third Person Character</i> (Autoría propia)	94
Figura 3-74 Función Equipar ERA (Autoría propia)	95
Figura 3-75 Configuración transformación del ERA (Autoría propia)	96
Figura 3-76 Equipar ERA en simulación (Autoría propia)	96
Figura 3-77 Inicialización del sistema de puntuación (Autoría propia).....	97
Figura 3-78 Equipar traje NRBQ (Autoría propia)	97
Figura 3-79 Creación de mensaje de bienvenida al edificio (Autoría propia)	98
Figura 3-80 Inicialización de variables (Autoría propia)	99

Figura 3-81 Registro de puntuaciones (Autoría propia).....	99
Figura 3-82 Activación <i>Widget</i> puntuación (Autoría propia).....	100
Figura 3-83 Desactivación de los <i>Widgets</i> del edificio (Autoría propia).....	100
Figura 3-84 Interfaz de usuario en zona inicial (Autoría propia).....	101
Figura 3-85 Blueprint generales de la zona inicial (Autoría propia).....	101
Figura 3-86 Blueprint generales de edificios contraincendios (Autoría propia)	102
Figura 3-87 Blueprints del fuego en el sollado (Autoría propia)	103
Figura 3-88 Blueprint general edificio control de averías (Autoría propia).....	103
Figura 3-89 Blueprint general edificio defensa NRBQ (Autoría propia).....	104
Figura 3-90 Variables en <i>GI_EvaluacionIncidencia</i> (Autoría propia).....	105
Figura 3-91 Tipo entrada Teclado - Mando (Autoría propia)	105
Figura 3-92 Actualizar iconos del <i>Widget</i> (Autoría propia)	106
Figura 3-93 Lógica del <i>BP_PlanoPregunta</i> (Autoría propia).....	106
Figura 3-94 Mostrar <i>Widget</i> (Autoría propia).....	107
Figura 3-95 Ocultar <i>Widget</i> (Autoría propia)	107
Figura 3-96 Comprobar respuesta parte 1 (Autoría propia)	108
Figura 3-97 Comprobar respuesta parte 2 (Autoría propia)	109
Figura 3-98 Comprobar respuesta parte 3 (Autoría propia)	109
Figura 3-99 Colisión en <i>Trigger</i> (Autoría propia).....	110
Figura 3-100 Diagrama de flujo interacción usuario (Autoría propia)	111
Figura 3-101 Acciones de entrada para respuesta (Autoría propia)	112
Figura 3-102 Responder (Autoría propia)	113
Figura 3-103 Actualizar puntuación (Autoría propia).....	113
Figura 3-104 Puntuación final (Autoría propia).....	114
Figura 3-105 Puntuación final del edificio (Autoría propia).....	114
Figura 3-106 Calcular puntuación total (Autoría propia).....	115
Figura 3-107 Configuración <i>Widget</i> puntuación final escenario (Autoría propia)	115
Figura 3-108 Puntuación final del escenario (Autoría propia).....	116
Figura 3-109 Diagrama de flujo funcionamiento global (Autoría propia)	117
Figura 3-110 Asignación de acciones para empleo de mando (Autoría propia)	118
Figura 3-111 Interacción jugador para apagar incendio (Autoría propia).....	119
Figura 3-112 Desactivación incidencia mediante interacción del jugador (Autoría propia).....	119
Figura 3-113 Generación de imagen equirrectangular (Autoría propia)	120
Figura 3-114 Web <i>Momento360</i> (Autoría propia).....	121
Figura 4-1 Visión general del escenario (Autoría propia).....	124
Figura 4-2 Interfaz visual de la puntuación (Autoría propia).....	124

Figura 4-3 Diseño final traje contraincendios (Autoría propia)	126
Figura 4-4 Resultado equipamiento traje NRBQ (Autoría propia)	127
Figura 4-5 Simulación de salida de humos (Autoría propia)	128
Figura 4-6 Mensaje de bienvenida a los edificios (Autoría propia)	129
Figura 4-7 Mensajes de bienvenida e instrucciones (Autoría propia)	129
Figura 4-8 Clases de fuegos y medios de extinción (Autoría propia)	130
Figura 4-9 Punto de partida del escenario (Autoría propia)	130
Figura 4-10 Incidencias en el edificio "Xavier Núñez" (Autoría propia)	131
Figura 4-11 Incidencias en edificio "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)	132
Figura 4-12 Espacios de ambientación contraincendios (Autoría propia)	132
Figura 4-13 Incidencias en edificio "Francisco Troncoso" (Autoría propia)	133
Figura 4-14 Estación de descontaminación NRBQ (Autoría propia)	134
Figura 4-15 Widget en edificio "Xavier Núñez" (Autoría propia)	135
Figura 4-16 Widget en edificio "Francisco Troncoso" (Autoría propia)	135
Figura 4-17 Widget en edificio "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)	136
Figura 4-18 Widget en edificio de defensa NRBQ (Autoría propia)	136
Figura 4-19 Diseño final del Widget (Autoría propia)	137
Figura 4-20 Usuario ejecutando la simulación con mando (Autoría propia)	138
Figura 4-21 Video simulación completa (Autoría propia)	139
Figura 4-22 Captura equirrectangular estática (Autoría propia)	140
Figura 4-23 Interfaz de Momento360 en ordenador (Autoría Propia)	141
Figura 4-24 Código QR visualización 360 (imagen generada por IA (ChatGPT 5.2))	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Adiestramiento avanzado mediante simulación [4]	17
Tabla 2-2 Adiestramiento avanzado mediante simulación según ETID 2020 [1]	35

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Descripción del apartado

Este apartado introduce el contexto del proyecto, su justificación y los objetivos que se pretenden alcanzar. Por tanto, se presenta una serie de aspectos relacionados con la Seguridad Interior desde una perspectiva general, que además se concreta dentro del ámbito de las Fuerzas Armadas, y su tecnología de innovación, y específicamente, en la Armada. A continuación, se analizan los antecedentes que justifican el desarrollo del presente proyecto, la justificación del mismo y los objetivos que se desean alcanzar. Finalmente, se presenta la estructura de la memoria para facilitar la comprensión del documento.

1.2 Antecedentes

La transformación tecnológica iniciada con la denominada Industria 4.0 ha supuesto, durante los últimos años, un gran cambio en los modelos de producción. A través de la digitalización, la automatización de los procesos y el uso constante de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial generativa, el análisis de datos a gran escala, y como se muestra en el presente documento, la simulación, estas tecnologías han permitido una evolución significativa en la eficiencia y automatización de los sistemas [1-2].

No obstante, la reciente evolución de este concepto de producción ha mostrado la necesidad de avanzar hacia un modelo más equilibrado, donde la tecnología no solo tenga como objetivo la eficiencia, sino que sitúe al ser humano en el centro del sistema productivo [1].



Figura 1-1 Revoluciones industriales [3]

En este contexto, surge el concepto de la Industria 5.0, siendo una evolución natural de la Industria 4.0, como se muestra en la Figura 1-1, donde el enfoque del humano en el centro del sistema se complementa con los avances tecnológicos que ofrecía la versión anterior. La Industria 5.0 se define

como un modelo que integra tecnologías avanzadas con un enfoque centrado en el factor humano. Asimismo, se muestra el interés por la colaboración entre sistemas inteligentes y personas, colaborando por la automatización de sistemas, y teniendo como principal objetivo un alcance óptimo de resiliencia en los sistemas productivos [1], [3].

La respuesta en materia de defensa se materializa en la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID 2020). La ETID prioriza varias líneas tecnológicas que son los pilares de las revoluciones industriales que se muestran en la Figura 1-1, como la sostenibilidad y la resiliencia. Estas líneas tecnológicas están directamente relacionadas con la transformación digital y la innovación en defensa, con la que se busca llevar a cabo avances en inteligencia artificial, robótica y otras tecnologías [4].

La Armada ha adoptado estos principios bajo la iniciativa de la Armada 4.0, introduciendo nuevos proyectos estratégicos como las plataformas inteligentes basadas en el gemelo digital. Las fragatas F-110 y los submarinos S-80 incorporan este concepto, siendo una réplica virtual que permite simular el mantenimiento, las operaciones y el sostenimiento antes y durante la vida real del buque [5].

A su vez, la Armada emplea centros de excelencia como el CISI (Centro de Instrucción de Seguridad Interior) y el CASI (Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior) para el adiestramiento inmersivo en Seguridad Interior, permitiendo a las dotaciones automatizar respuestas ante daños catastróficos [6]. Se puede demostrar que el objeto principal del proyecto está firmemente fundamentado en las nuevas líneas estratégicas en tecnología e innovación de la defensa, complementando la implementación de la Industria 5.0, como la evolución natural de sus predecesoras.

El factor humano dentro de las Fuerzas Armadas, y en la Armada en particular, está presente en la doctrina como el alma de la revolución, a pesar del alto grado de automatización que se busca. Las tecnologías provenientes de las nuevas revoluciones industriales deben servir para potenciar la formación y capacidad de decisión bajo estrés, no para sustituirlas [4, 7].



Figura 1-2 La Seguridad Interior y NBQR como aporte a la supervivencia de la unidad [8]

Toda esta implementación por parte del Ministerio de Defensa está materializada en avances con buques inteligentes y sistemas de simulación de alta fidelidad que suponen un aumento en la capacidad de supervivencia de las unidades [4]. Además, con el presente proyecto, se combinan los elementos más significativos de las revoluciones industriales.

1.3 Justificación

Empleando la información desarrollada en los antecedentes del proyecto, se muestra la importancia de la adaptación de la Armada y de toda la industria de defensa nacional a los avances tecnológicos de las nuevas industrias que surgen debido a la evolución natural de las tecnologías.

En primer lugar, con la Industria 4.0 se proporciona la infraestructura digital y de datos, que formaría el escenario virtual que se ha diseñado. La Industria 5.0 integra al personal humano que participaría de forma activa en el entorno del escenario virtual generado previamente. Además, este proyecto se integra dentro de las metas que define la ETID para que España y las Fuerzas Armadas mantengan su soberanía, promoviendo la formación del personal y aumentando la supervivencia de las unidades. Finalmente, la Armada emplea estos avances con sistemas de simulación que introduzcan mejoras en la instrucción y adiestramiento del personal, siendo uno de los objetivos de este trabajo [1, 4].

1.4 Objetivos

Como principal objetivo del trabajo se encuentra el título del mismo, es decir: diseño de un escenario virtual interactivo para instrucción militar básica en seguridad interior. Siendo este el principal, se derivan una serie de objetivos secundarios que se han ido cumpliendo a medida que se desarrollaba el proyecto.

Estos objetivos secundarios son:

- Desarrollar un escenario virtual interactivo basado en conceptos de Seguridad Interior, implementado en Unreal Engine, que permita la simulación de incidencias operativas y que sirva de instrucción para el personal de la Armada, en aquellos centros de formación donde el estudio de estos conceptos sea elemento indispensable dentro de la formación académica.
- Implementar el modelado tridimensional del escenario que se asemeje a la realidad y cumpla con la doctrina básica en materia de Seguridad Interior.
- Diseñar y modelar un entorno interactivo en el que una serie de incidencias afecte significativamente a la supervivencia de las unidades.

Junto con la evolución y el desarrollo del proyecto, se ha conseguido alcanzar una serie de objetivos derivados del diseño del escenario virtual.

Estos objetivos son:

- Empleo de programación para los componentes que forman el escenario, así como la implementación de elementos interactivos, que mejoren la instrucción del personal.
- Programar un sistema de evaluación automática del usuario que se enfrente a las incidencias del escenario virtual, permitiendo al instructor evaluar de forma segura y eficiente la formación y los conocimientos alcanzados por este.
- Incorporar elementos de gamificación en el escenario virtual, permitiendo que el alumno interactúe con el entorno mediante dinámicas propias del juego, favoreciendo así un aprendizaje más motivador y efectivo mientras simula situaciones realistas propias del ámbito de la Seguridad Interior.

1.5 Estructura del trabajo

La estructura del presente documento es la que se establece por el Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar de Marín.

Entre las distintas partes encontramos:

- Introducción: Se exponen los antecedentes que han motivado el desarrollo de esta memoria, con el objetivo de contextualizar el origen del proyecto. Además, se definen qué objetivos se consiguen durante la evolución del trabajo, tanto principales como secundarios.
- Estado del arte: Se aporta una visión del contexto tecnológico y conceptual para analizar de forma óptima y detallada en qué ámbitos se encuentra el proyecto.
- Desarrollo: se detalla de forma exhaustiva el proceso seguido para el diseño, modelado y configuración de todos los elementos que conforman el proyecto, explicando paso a paso todas las decisiones que se han tomado durante la ejecución del trabajo.

- Resultados: Se presenta el escenario final que se ha desarrollado para el adiestramiento militar mediante Unreal Engine en un entorno interactivo, así como la programación que se ha llevado a cabo posteriormente. A su vez, se muestran y se analizan todos los resultados obtenidos.
- Conclusiones y líneas futuras: Se resumen los aspectos más relevantes del desarrollo y los resultados alcanzados. Asimismo, se plantean mejoras futuras tanto a largo como a corto plazo.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Descripción del apartado

En el presente apartado se aborda el marco doctrinal representado por la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa, seguido de una visión general del estado actual de los distintos bloques que conforman el proyecto. En primer lugar, se desarrollan los principales conceptos militares vinculados a la Seguridad Interior, con especial atención a los ámbitos de la lucha contra incendios, control de averías y defensa NBQR. Posteriormente, se analiza el papel de la simulación aplicada a la Seguridad Interior. Finalmente, se describe el software para la correcta ejecución del trabajo.

2.2 Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID)

En este primer subapartado se define el marco estratégico que guía la innovación para obtener una ventaja operativa mediante soluciones tecnológicas avanzadas. Con su inclusión, se demuestra la importancia del adiestramiento e instrucción avanzada mediante simulación, esencial para la preparación cognitiva del personal militar.

2.2.1 Política de I+D+i del MINISDEF

La política de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) del Ministerio de Defensa se encuentra bajo la responsabilidad de la Secretaría de Estado de Defensa (SEDEF). Su propósito fundamental es coadyuvar al logro de los objetivos establecidos por la política de Defensa, contribuyendo directamente a la consecución de las capacidades militares resultantes del Proceso de Planeamiento de la Defensa [4].

Esta política se encuadra legalmente en la Ley 14/2011 de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, integrándose como una estrategia sectorial dentro de la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación (EECTI 2021-2027) [4]. Asimismo, el desarrollo de simuladores virtuales como el propuesto en este trabajo responde a la necesidad de integrar soluciones tecnológicas innovadoras dentro del ámbito de la defensa, reforzando tanto la ventaja operativa como la autonomía tecnológica, aspectos clave definidos en la estrategia.

La misión política tecnológica de defensa se articula en torno a dos objetivos estratégicos clave [4]:

- **Ventaja Operativa:** Contribuir al desarrollo de las capacidades militares a través de soluciones tecnológicas avanzadas que proporcionen una ventaja decisiva en el empleo de la fuerza.
- **Libertad de Acción:** Conformar una base tecnológica e industrial nacional (BTI) sólida que disponga de las capacidades esenciales para que España no dependa de terceros en el empleo de sus capacidades militares.

Las directrices de la política de I+D+i se materializan a través del marco estratégico de la ETID, siendo la misión de esta la base sobre la que se articula toda la ETID. A su vez, la ETID traduce la política general en un primer pilar de objetivos tecnológicos específicos [4].

Las líneas de I+D+i de interés para la defensa son el conjunto de áreas tecnológicas donde el Ministerio de Defensa focaliza sus esfuerzos con el objetivo de mejorar las capacidades militares. Se considera como un medio para que las Fuerzas Armadas alcancen una ventaja operativa y garanticen la libertad de acción, como se nombra anteriormente con los objetivos estratégicos [4].

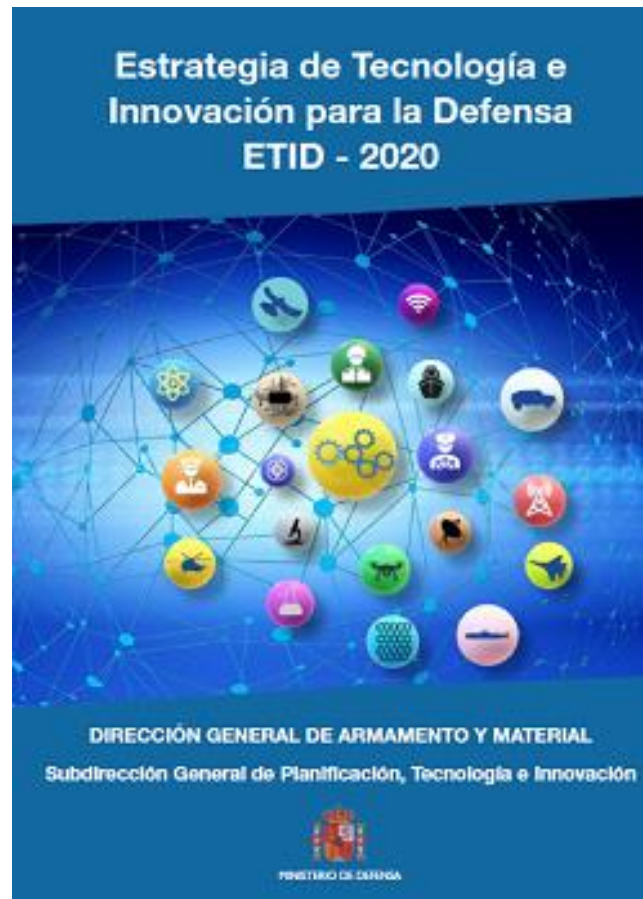


Figura 2-1. Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa [4]

La estrategia organiza estos intereses en 11 áreas principales [4]: Armas y municiones, sensores y sistemas electrónicos, tecnologías comunes, bases e instalaciones, plataformas terrestres, plataformas navales, plataformas aéreas, sistemas espaciales, combatientes, NRBQ y tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación.

2.2.2 Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación.

El presente trabajo se encuadra de manera directa en el Área 11 de la ETID, denominada "Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación", y más específicamente en su línea "11.3.1. Adiestramiento avanzado mediante simulación". En la Figura 2-1, se muestra la captura original propia de la ETID, en la que se redactan los conceptos desarrollados a continuación.

Como se desarrolla en dicho Área, como principal objetivo se busca la preparación óptima del personal de las Fuerzas Armadas, a través de soluciones innovadoras que permitan la preparación de las dotaciones en sus dimensiones cognitivas, físicas y psicológicas. A su vez, la ETID prioriza la recreación de condiciones cercanas a las operaciones reales en diversos dominios, incluido el marítimo [4].

Cabe destacar que uno de los pilares del adiestramiento avanzado mediante simulación es facilitar la instrucción sin necesidad de medios físicos reales. Por tanto, el diseño de entornos virtuales como el

aquí descrito contribuye a la economización de recursos, logrando un mayor tiempo de instrucción con una inversión monetaria y de material significativamente menor.

A diferencia del adiestramiento, como se define en la línea estratégica que se desarrolla, debido a su generalización, el presente trabajo se define como una herramienta de instrucción ya que su objetivo es proporcionar la base teórica y el conocimiento doctrinal necesarios para la Seguridad Interior [9].

11. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, COMUNICACIONES Y SIMULACIÓN	
11.3. SIMULACIÓN	
11.3.1. Adiestramiento avanzado mediante simulación	“Desarrollo de soluciones innovadoras basadas en el uso de sistemas de simulación que permitan una óptima preparación y adiestramiento del personal de las Fuerzas Armadas en sus dimensiones cognitivas, físicas y psicológicas, abarcando lo relacionado con la doctrina para la ejecución de las operaciones, lo relativo a la utilización de los medios materiales (plataformas, armamento, etc.) o la recreación de condiciones cercanas a las de las operaciones reales, en los dominios de tierra, mar y aire y ciberespacio. Constituye el núcleo del objetivo «adiestramiento avanzado mediante simulación”.

Tabla 2-1 Adiestramiento avanzado mediante simulación [4]

Este escenario virtual interactivo busca que el personal militar domine la organización, los procedimientos y la toma de decisiones en situaciones críticas, dimensiones propias de la instrucción militar. No obstante, el adiestramiento, propiamente dicho, consiste en el desarrollo de habilidades mediante la práctica constante y la ejecución física [9].

2.3 La Seguridad Interior

La Seguridad Interior se define como el conjunto formado por una organización, unos procedimientos y los medios materiales y humanos destinados a prevenir, reducir y corregir los efectos que accidentes o la acción del enemigo puedan causar sobre el buque y su dotación. Su objetivo principal consiste en permitir que el buque continúe su misión y/o regrese a puerto mediante una respuesta flexible y escalonada que limite, controle y repare los daños recibidos, ya sea en tiempo de paz o de guerra[9].

La Seguridad Interior tendrá éxito en función de los siguientes factores[9]:

- Personal suficientemente adiestrado.
- Tener materiales preparados.
- Respuestas planeadas ante los escenarios más peligrosos.

De igual modo, se implementa un cuarto factor, que va ganando importancia con el tiempo, que consiste en el grado de automatización implementado a bordo del buque. La evolución actual del diseño naval se orienta hacia unidades con un mayor grado de automatización y dotaciones que poco a poco van siendo más reducidas, lo que provoca que sea más importante el adiestramiento del personal[9].

La D-CP-01 (Figura 2-2), Manual Doctrinal de Seguridad Interior a bordo de la Armada, se trata de la base normativa y el marco de referencia que regula los procedimientos, la organización y los medios destinados a la supervivencia del buque. La creación y actualización de esta doctrina se llevaban a cabo por el Centro de Instrucción de Seguridad Interior (CISI) a través del Grupo de Doctrina de Control de la Plataforma (GRUPLAT).

Una adecuada Seguridad Interior resulta clave para responder con rapidez y eficacia ante situaciones críticas, reduciendo el impacto de las averías y mejorando la capacidad de reacción de la dotación.

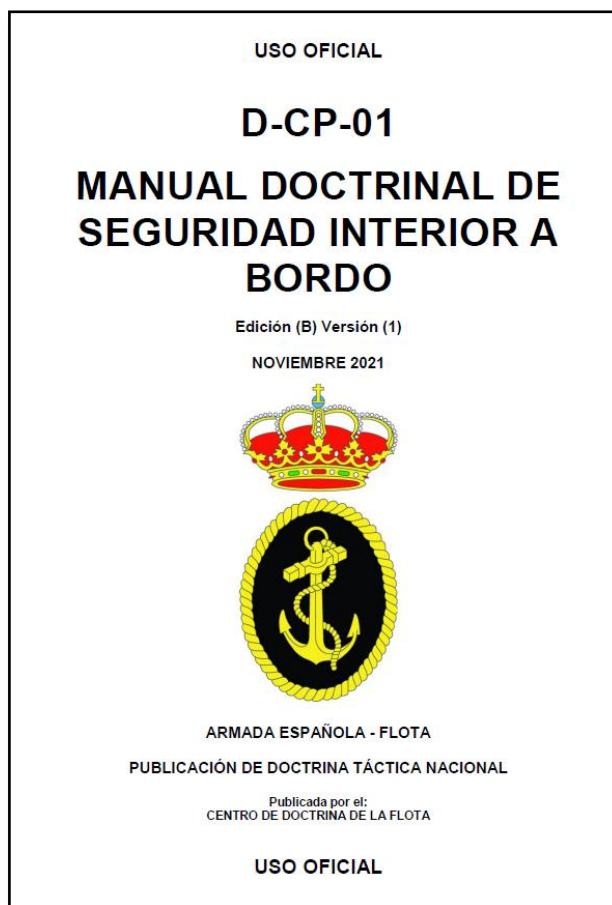


Figura 2-2 Manual Doctrinario de Seguridad Interior a bordo [9]

Esta nueva doctrina, fechada en noviembre de 2021, se adapta a la evolución de la construcción de las nuevas plataformas navales y las nuevas características de las armas modernas, es decir, se adapta a los retos tecnológicos y operativos del siglo XXI. Otro de los criterios que han motivado la actualización doctrinal de la Seguridad Interior es la organización operativa de los buques en cuanto a personal, tratando de gestionar de forma homogénea las dotaciones reducidas de los buques actuales [10].

No obstante, la doctrina actual continúa condicionada por las lecciones aprendidas a raíz de la Segunda Guerra Mundial, es decir, mantener la condición de luchar contra las incidencias que vayan surgiendo, manteniendo de forma simultánea la capacidad de combatir [10].

2.3.1 Conceptos militares

Antes de nada, con este subapartado se busca una mejor comprensión de los conceptos militares que se desarrollan durante el trabajo, guardando amplia relación con elementos propios de la instrucción en Seguridad Interior, sus fases y procedimientos, así como conceptos relacionados con la supervivencia del buque de guerra.

2.3.1.1 El buque de guerra

El buque de guerra se puede definir como una nave que pertenece a las marinas de guerra de un determinado Estado, encontrándose al mando de un oficial de la marina de guerra correspondiente. Además, estos buques deben ostentar signos exteriores distintivos de su nacionalidad [11].

A diferencia de los buques mercantes, estas unidades están diseñadas para llevar a cabo operaciones en condiciones extremas y son expuestas constantemente a situaciones de peligro para cumplir misiones de disuasión y defensa [12]. Esta gran comparación está marcada por la supervivencia del buque, de la que se hablará en profundidad en el subapartado 2.3.1.2 [13].

Uno de los principales conceptos, con el objetivo de reducir la susceptibilidad, es la gestión de firmas que tiene el buque de guerra. A su vez, los buques modernos integran la tecnología *stealth* o *LOT* (*Low Observability Technology*), cuyo objetivo es minimizar las firmas o rastros físicos que detectan los sensores enemigos [11].

Estas firmas incluyen [11]:

- Radar: Energía electromagnética reflejada por la estructura.
- Infrarroja (IR): Radiación térmica emitida principalmente por los gases de exhaustación y la maquinaria.
- Acústica: Vibraciones de la maquinaria transmitidas al mar.
- Magnética, eléctrica y de presión: Alteraciones del entorno físico causadas por el casco y los sistemas del buque.

Además, se debe llevar a cabo una gran integración de sistemas y requisitos operativos. El diseño de un buque de guerra es un proceso de ingeniería altamente complejo que debe equilibrar la estructura, maquinaria, formas del casco y sistemas de armas [12].

Por último, los buques de guerra están caracterizados por una propulsión avanzada, basada en sistemas de propulsión eléctrica integrada (IFEP) o CODELOG, que permiten que los motores trabajen en regímenes óptimos de rendimiento, mejorando la eficiencia energética y reduciendo significativamente la firma infrarroja [14].



Figura 2-2 Portaaeronaves de la Armada [11]

2.3.1.2 Supervivencia del buque de guerra

El concepto de supervivencia del buque de guerra consiste en la capacidad para evitar o resistir daños, permitiéndole continuar con su misión operativa y, en última instancia, regresar a puerto. Como vimos anteriormente, los buques de guerra, a diferencia de los buques civiles, son expuestos de manera deliberada a situaciones de peligro y riesgo, y son capaces de absorber los daños derivados de un ataque [9].

La supervivencia de un buque de guerra aumenta cuando también lo hacen los siguientes tres pilares fundamentales en los que se basa [9]:

1. Susceptibilidad (Pre-impacto):

Depende directamente de la gestión de las firmas del buque y de las reacciones ASMD (*Anti-ship Missile Defense*) del buque, siendo la incapacidad de la unidad para evitar los sensores o derrotar un ataque antes de que este se materialice. Tener una baja susceptibilidad significa que el buque es difícil de detectar o identificar por parte del enemigo, así como por parte de su sistema de armas.

2. Vulnerabilidad (Post-impacto):

Se trata del grado de deterioro que sufre la nave tras recibir un impacto o la acción de un arma. Se mide con la capacidad de resistir el daño primario causado por el ataque y depende de varias características, entre las que se encuentran factores de diseño como el blindaje, la compartimentación estanca, la ubicación estratégica de equipos críticos y la redundancia de sistemas.

3. Recuperabilidad (El factor humano y la Seguridad Interior):

Es la habilidad del buque y su dotación para controlar los daños secundarios (como incendios, inundaciones o pérdida de resistencia estructural) tras sufrir un impacto. Se trata del principal factor de estudio en el trabajo, ya que es donde se encuentra la Seguridad Interior, ya que se encarga de limitar, contener y reparar los daños para restaurar las capacidades básicas del buque.

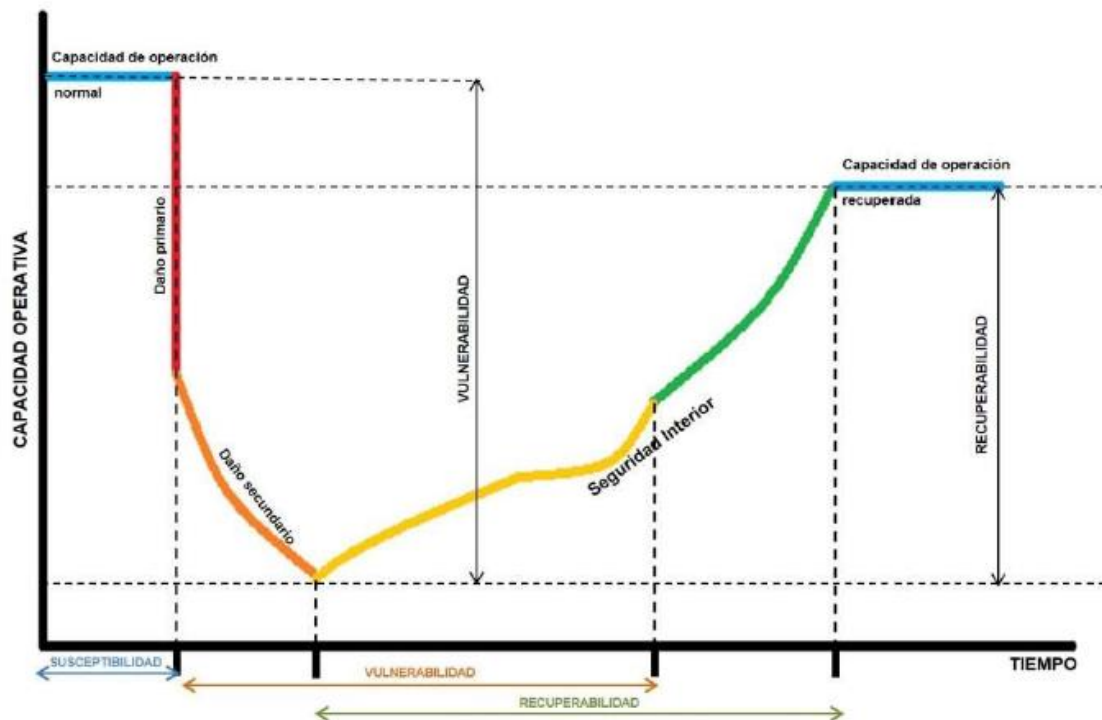


Figura 2-3 Capacidad operativa frente a tiempo [9]

En la Figura 2-3 es fácilmente demostrable que, a mayor daño primario, menor margen para resistir un daño adicional secundario sin perder el buque [9].

Con el objetivo de aumentar la supervivencia, siendo el resultado de reducir la siniestralidad, se propone una visión técnica a través de la siguiente relación [14]:

$$SINIESTRALIDAD = SUSCEPTIBILIDAD \times VULNERABILIDAD$$

Donde la siniestralidad viene definida a través del concepto de supervivencia, tal como se refleja a continuación:

$$SUPERVIVENCIA = 1 - SINIESTRALIDAD$$

En la Figura 2-4, se observa como en ambiente hostil, la Seguridad Interior forma parte de la supervivencia como un componente más, a la que nos aproximamos mediante la integración efectiva de todas las capacidades del buque [9].

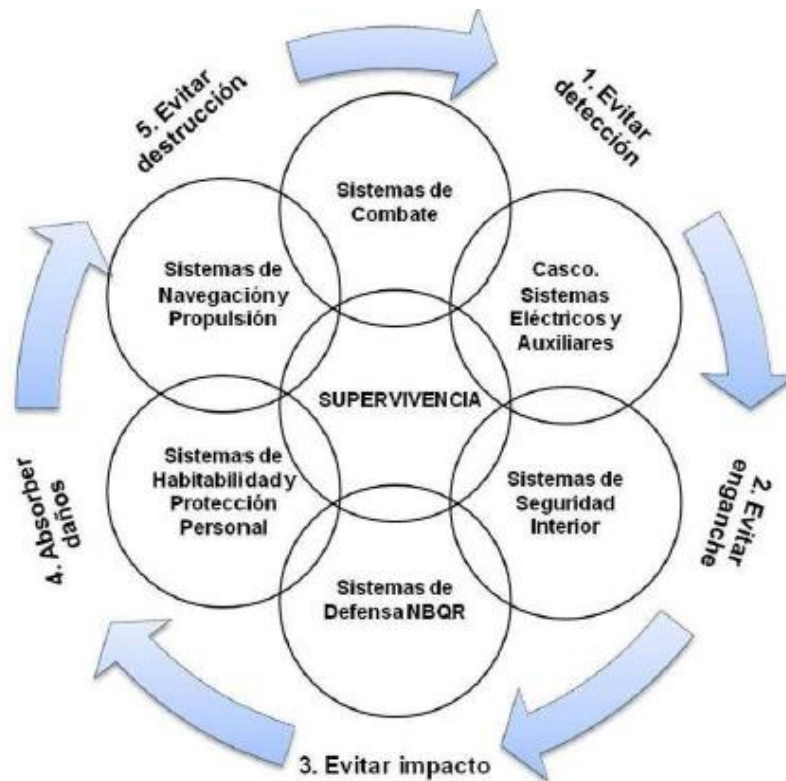


Figura 2-4 Integración efectiva de las capacidades de un buque [9]

A su vez, pese a ser la Seguridad Interior el objeto principal de este proyecto, en la supervivencia del buque participan una gran variedad de factores propios de las unidades navales.

2.3.2 Etapas de Seguridad Interior

De acuerdo con el manual doctrinal, la efectividad de la Seguridad Interior se basa en orientar los esfuerzos de la organización de manera distinta según el momento en que se encuentre la incidencia.

En este sentido, el entrenamiento del personal en cada una de estas fases es clave para asegurar una respuesta coordinada y eficiente, siendo especialmente relevante el uso de herramientas de simulación que permitan recrear situaciones reales y mejorar la toma de decisiones. Estas distintas etapas se dividen en tres partes [9]:

2.3.2.1 Etapa de Preparación

Esta fase tiene lugar antes de que se produzca el daño y se trata de la etapa más crítica para la supervivencia del buque. Tiene una gran importancia la existencia de un programa sólido de adiestramiento, con el objetivo de alcanzar las habilidades, los conocimientos y la capacidad de trabajo en equipo, para que la acción que se lleve a cabo sea efectiva.

Los objetivos principales de la etapa de preparación son los siguientes [9]:

- Preservar la integridad estanca y la resistencia estructural del proyecto original.
- Mantener las mejores condiciones de estabilidad, flotabilidad y maniobrabilidad.
- Garantizar la eficacia del personal mediante planes de mantenimiento, instrucción y adiestramiento, como el mostrado en la Figura 2-5.
- Reducir riesgos mediante el Plan de Prevención de Incendios y la eliminación de peligros derivados de posibles incidentes



Figura 2-5 Ejercicio de Seguridad Interior en la cubierta del patrullero Arnomendi [10]

Cabe destacar que la etapa de preparación se rige por una regla general:

“Las probabilidades de éxito ante una emergencia o avería se basan en un 90% en la etapa de preparación, y solamente en un 10% en la etapa de acción” [9].

2.3.2.2 Etapa de Acción

Esta fase da comienzo después de producirse el daño con el fin de localizarlo, contenerlo y minimizar sus efectos. De manera práctica, la doctrina contempla dos fases bien diferenciadas dentro de esta etapa [9]:

- Primera Fase: Orientada a evitar la extensión de los daños de forma inmediata, controlando y combatiendo la incidencia, investigando la magnitud de la avería, preservando la estabilidad y tratando la contaminación NBQR, siempre adoptando las medidas de protección y detección necesarias.
- Segunda fase: En función de la disponibilidad, se ejecutará de forma simultánea con la anterior fase o bien tan pronto como sea posible.
Asimismo, busca recuperar o mantener las capacidades operativas. Consiste en corregir escoras y asientos, tender líneas eléctricas volantes, realizar reparaciones rápidas en equipos vitales, cubrir puestos de personal fuera de combate y prestar primeros auxilios, como se muestra en la Figura 2-6.



Figura 2-6 Evacuación MEDEVAC en la fragata F-101 Álvaro de Bazán [15]

2.3.2.3 Etapa de Recuperación

En primer lugar, esta etapa tiene lugar después de que el daño haya sido controlado, centrándose en reparaciones de emergencia que permitan al buque completar su misión o, por lo menos, regresar a puerto con seguridad. Entre las principales reparaciones se encuentran [9]:

- Reforzar elementos dañados que afecten a la resistencia estructural.
- Mejora de la estabilidad, flotabilidad y maniobrabilidad.
- Recuperar instalaciones vitales para la navegación y autodefensa.
- Taponar desgarros y orificios tanto en la obra viva como en la muerta.
- Achicar y ventilar compartimentos inundados o incendiados para que vuelvan a ser utilizables y, a su vez, asegurar la estanqueidad de sus límites en los compartimentos que no hayan podido ser achicados.

La estabilidad del buque es uno de los elementos más importantes del buque de guerra. Como se muestra en la Figura 2-7, el metacentro (M) es un punto crítico para la estabilidad de un buque, definido como el punto de intersección de dos líneas de acción sucesivas de la fuerza de empuje cuando el buque se escora un ángulo muy reducido. Cuando se relaciona este punto con el centro de gravedad (G), se determina la altura metacéntrica (GM), que es la medida fundamental de la estabilidad inicial de la plataforma [16].

El metacentro puede afectar de tres formas bien diferenciadas la estabilidad del buque [16]:

- Estabilidad Positiva (G por debajo de M): En esta condición, cuando el buque escora, se genera un brazo de adrizamiento (GZ) que crea una fuerza para devolver al buque a su posición de equilibrio.
- Estabilidad Crítica o Neutra (GM muy pequeño): Si el centro de gravedad sube y se aproxima al metacentro, el buque "se duerme", tardando mucho en adrizarse tras un balance.
- Estabilidad Negativa (G por encima de M): Cuando el centro de gravedad sobrepasa la altura del metacentro, el buque pierde su capacidad de mantenerse adrizado.

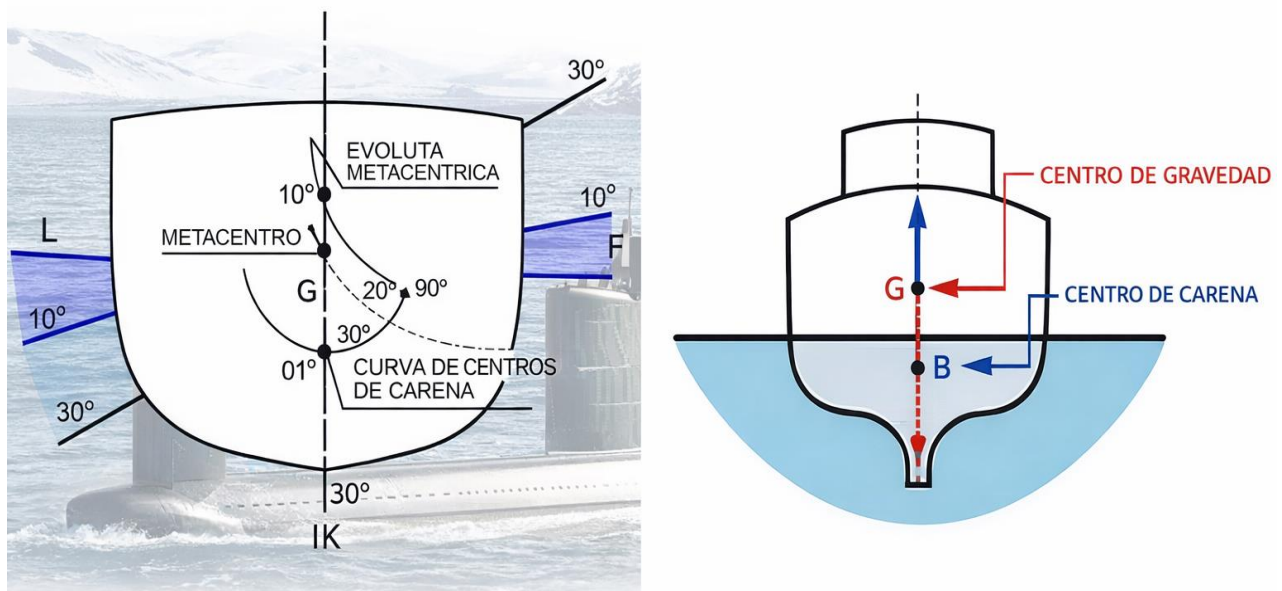


Figura 2-7 Elementos que afectan a la estabilidad de un buque [16]

A partir de la Figura 2-7, se aprecia la relación entre el centro de gravedad, el centro de carena y el metacentro, elementos clave en la estabilidad del buque. La posición relativa entre ellos determina si el buque recupera su equilibrio o pierde estabilidad ante una escora.

2.3.3 Contraincendios

Para empezar, los daños catastróficos provocados por un impacto generan situaciones de muy alta complejidad. En la mayoría de los casos este tipo de sucesos va acompañado de grandes incendios que se propagan con rapidez, lo que los convierte en un desafío especialmente difícil de gestionar para los servicios y la organización de la Seguridad Interior [17].

Antes de entrar en detalle, se debe conocer el modelo que explica los cuatro elementos esenciales para que exista y se mantenga un incendio, es decir, el tetraedro del fuego, mostrado en la Figura 2-8.

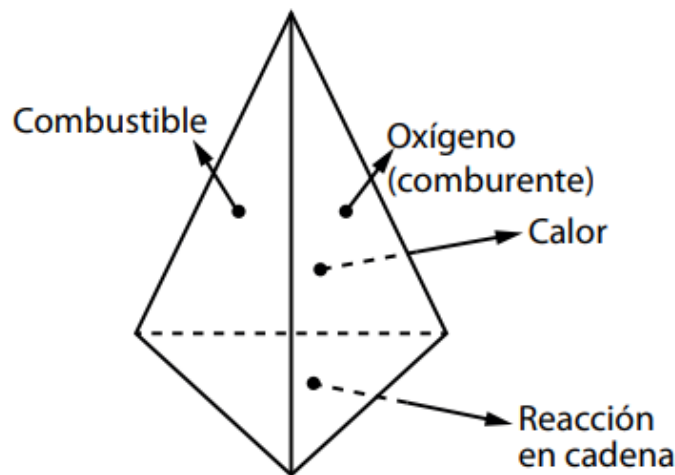


Figura 2-8 Tetraedro del fuego [18]

Este modelo parte del triángulo del fuego, que incluye los tres elementos principales observados en la Figura 2-8: combustible, oxígeno (comburente) y calor. Sin embargo, cabe destacar que este triángulo no explica por sí solo el mantenimiento del fuego, ya que durante la combustión se producen reacciones intermedias que permiten que el proceso continúe [18].

Para poder explicar el hecho anterior, se introduce un cuarto elemento, denominado reacción en cadena, que genera el tetraedro del fuego que se acaba de desarrollar.

- **Clasificación de los incendios [9]:**

Se debe definir el tipo de fuego según la naturaleza del combustible para elegir el agente extintor adecuado:

- Clase A: Materias sólidas que dejan brasas (madera, papel, tejidos).
- Clase B: Líquidos combustibles (gasolina, gasoil, aceite).
- Clase C: Gases inflamables a presión (metano, hidrógeno).
- Clase D: Metales ligeros combustibles (magnesio, aluminio).
- Clase E: Equipos eléctricos con tensión.
- Clase F: Grasas y aceites de cocina.

- **Dinámica de fuego en un compartimento [9]:**

Durante el desarrollo de un incendio en un compartimento cerrado, tienen lugar normalmente cuatro etapas críticas que definen su comportamiento y el riesgo para la dotación. Estas etapas se pueden observar de manera visual en la Figura 2-9.

- a. Etapa de crecimiento:

En esta primera fase, el fuego se localiza cerca de su origen y la temperatura promedio del compartimento es baja. Sin embargo, alrededor de los materiales en llamas existen altas temperaturas, a la vez que el humo se va acumulando en una capa superior caliente del compartimento.

A su vez, al final de esta etapa puede ocurrir el *rollover*, que es la formación y rápida expansión de un frente de llamas en la parte superior del compartimento debido a la ignición de los gases acumulados al mezclarse con aire fresco [19].

Se debe nombrar la existencia del plano neutro, siendo el límite horizontal donde las presiones interna y externa son idénticas, y que se debe tener en cuenta a la hora de atacar una incidencia en un compartimento determinado.

b. *Flashover* (Período de Transición):

Consiste en un corto período de tiempo en el que no existe escasez de oxígeno y supone una transición breve de la etapa de crecimiento a la de incendio totalmente desarrollado. Suele ocurrir cuando los gases acumulados en el techo alcanzan los 600 °C y el flujo de calor radiante llega a los 20 kW/m².

El efecto consiste en la propagación repentina de las llamas a todos los materiales del compartimento que sean combustibles, y provocando que la supervivencia en el interior para una persona sea altamente improbable [19].

c. Etapa de Incendio Completamente Desarrollado:

En esta etapa del incendio todos los materiales del compartimento están ardiendo y el calor es máximo. Por consiguiente, las temperaturas tan elevadas que se alcanzan hacen que los equipos de mangueras no puedan acceder al interior, siendo necesario recurrir a un ataque indirecto desde el exterior.

Cabe destacar que esta etapa se suele alcanzar con gran rapidez en cámaras de máquinas, pañoles de líquidos que son inflamables, como el de pinturas, o tras un impacto de misil.

d. Etapa de Decaimiento (Decrecimiento):

Se trata de la última etapa, en la que debido a la ausencia de combustible o cuando se consume todo el combustible disponible, el fuego va disminuyendo su intensidad hasta que finalmente se apaga.

Uno de los principales riesgos asociados a esta última etapa de un incendio es el *backdraft*, ya que si el incendio decae por falta de oxígeno en un compartimento estanco, pero los gases siguen calientes, la apertura repentina de una puerta puede introducir aire fresco y generar una deflagración explosiva, la cual da nombre a este suceso [19].

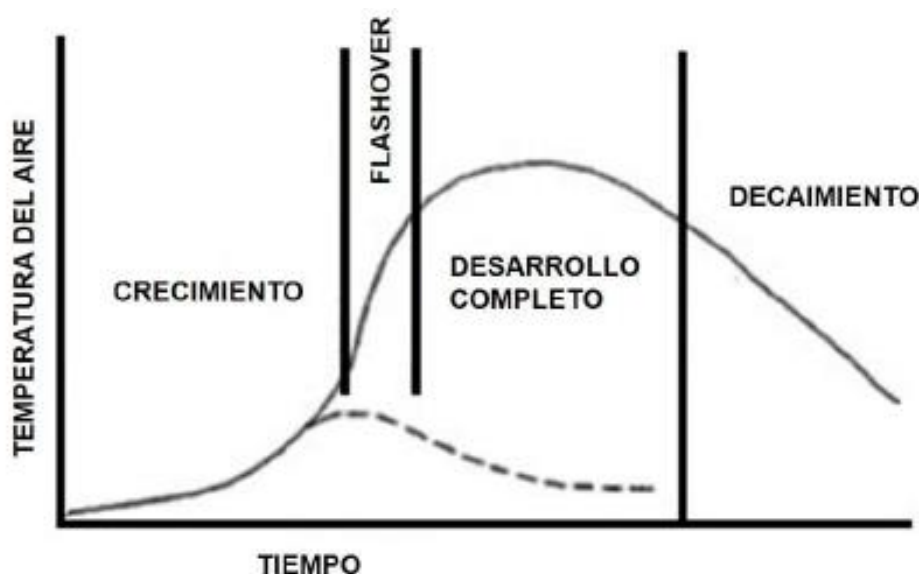


Figura 2-9 Etapas de desarrollo de un incendio [9]

Asimismo, cabe destacar que la línea punteada de la Figura 2-8, muestra el decaimiento del incendio en ausencia de oxígeno.

○ Procedimientos de contraincendios:

Los procedimientos de contraincendios en la Armada se basan en el principio de una respuesta flexible y escalonada, con el objetivo de permitir que el buque continúe su misión o regrese a puerto. Este procedimiento de contraincendios es de obligado cumplimiento para todo el personal de la dotación, ya que las acciones iniciales del descubridor marcan la diferencia entre un fuego controlable y uno que ponga en peligro la supervivencia del buque [9].

Para continuar, estas acciones iniciales siempre darán comienzo con la voz del descubridor, quien debe gritar de forma enérgica y repetida "FUEGO, FUEGO, FUEGO" hasta ser escuchado. La información debe llegar al Puente o a la Central de Seguridad Interior (CSI) junto con la identificación personal, tipo de incidencia y ubicación exacta (nombre y número del compartimento) [9].

En el caso de no poder hacer frente a la incidencia, el descubridor debe abandonar el local realizando la estanqueidad completa (cerrar puertas y escotillas) y permanecer en el acceso para informar al Grupo de Intervención Inmediata (GII) [9].

Todas estas acciones se detallan de manera gráfica en la Figura 2-10. Además, durante el desarrollo del proyecto se llevará a cabo la ejecución y puesta a prueba del nivel de instrucción del personal en varias de estas situaciones, incluidas las reacciones iniciales de contraincendios. El jugador, a través del escenario virtual interactivo, deberá ponerse a prueba ante situaciones adversas y bajo estrés, con el objetivo de alcanzar un resultado favorable en el ataque de la incidencia. Para llevar a cabo la toma de decisiones, y como se detalla en doctrina, se deberá seguir el esquema básico de toma de decisiones de la Figura 2-11.

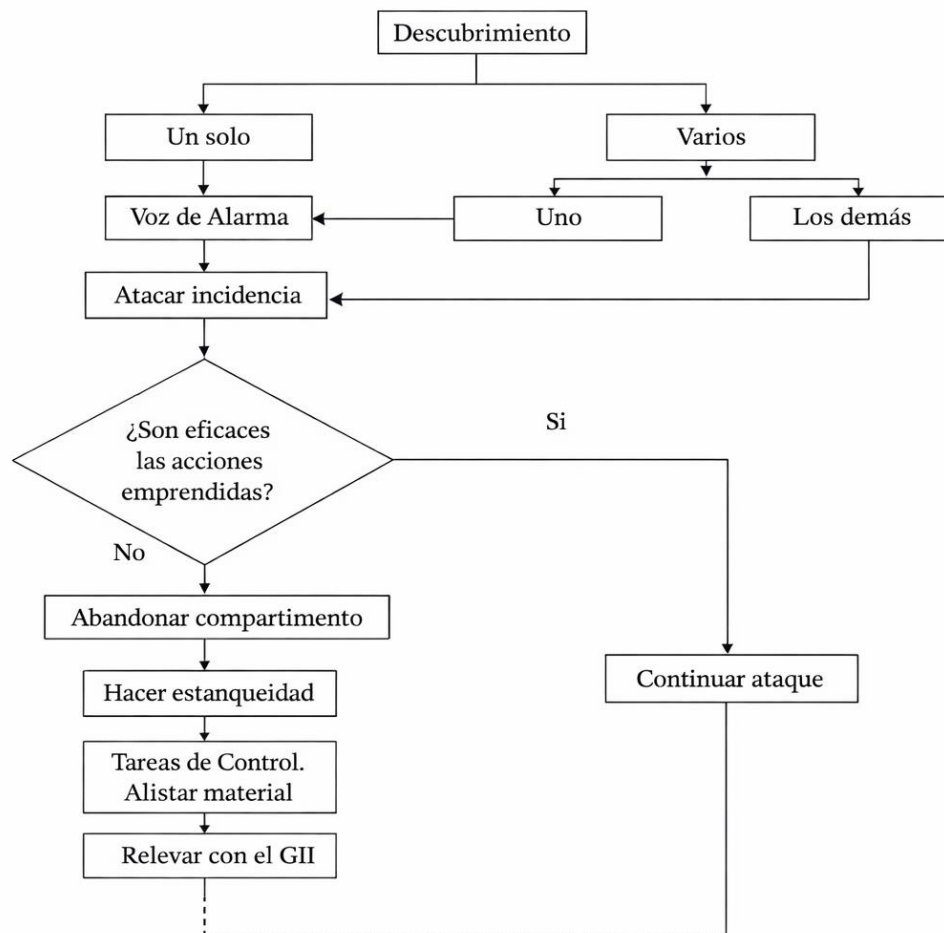


Figura 2-10 Acciones iniciales del descubridor [9]

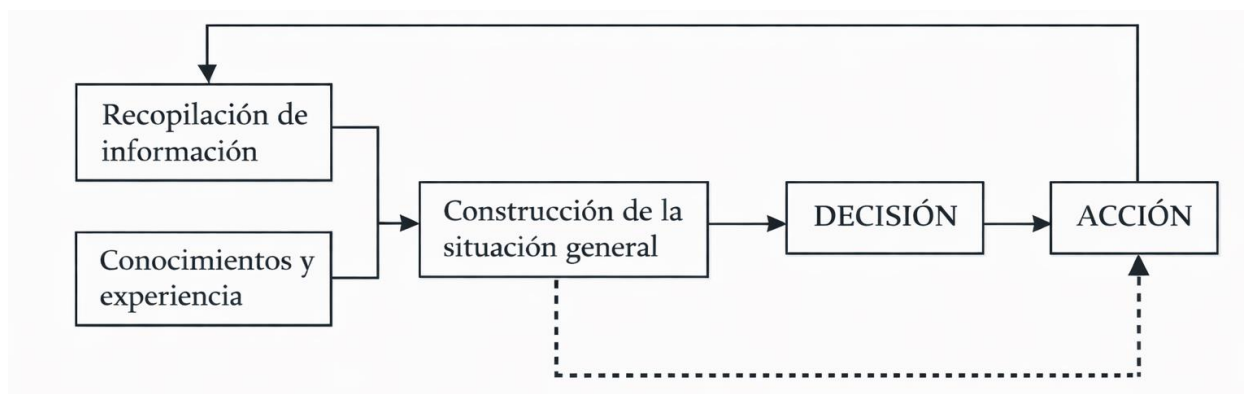


Figura 2-11 Esquema básico toma de decisiones [9]

De igual modo, el procedimiento de contraincendios está basado en una organización operativa caracterizada por la capacidad de llevar a cabo una respuesta escalonada que sea exitosa para el ataque de la incidencia. Como se observa anteriormente, junto con el desarrollo de las acciones se van activando de forma sucesiva los diferentes grupos que forman dicha organización, entre los que se encuentran [9]:

- Grupo de Intervención Inmediata (GII): Es el primero en llegar. Su misión es un ataque agresivo y localizado usando extintores o mangueras si el aislamiento eléctrico se ha completado.
- Grupo de Escena: Establece el Punto de Control de Equipos Respiratorios en una zona libre de humos y coordina el ataque. Lo componen: jefe de escena, electricista y controlador de equipos respiratorios.
- Grupo de CI: Releva al GII y al descubridor para continuar el ataque de forma sostenida y continuada sobre la incidencia.

Por consiguiente, se deben establecer las fases generales que tiene la lucha contra incendios, a través de las cuales se define la estructura operativa. Primeramente, y a través de la cámara térmica, se debe localizar el foco del incendio y determinar su clase, es decir, se lleva a cabo la evaluación y localización de la incidencia. Además, se debe llevar a cabo el aislamiento del compartimento afectado con el aislamiento mecánico y eléctrico, junto con el establecimiento de límites de humo y fuego para tratar de confinar la incidencia [9].

Los límites que se establecen para hacer frente a la incidencia se denominan líneas de defensa. Se montan con mangueras de refresco, priorizando los compartimentos peligrosos (munición/combustible) y la cubierta inmediatamente superior [9].

Adicionalmente, durante el ataque de la incidencia se ejecutarán distintas técnicas en función de las características de la incidencia. Estas deben ser empleadas por los Grupos de Contraincendios formados por un mínimo de 4 componentes, y que pondrán en práctica estos procedimientos de forma conjunta con el de entrada al compartimento [9].

Podemos distinguir las siguientes técnicas de ataque de la incidencia:

- Ataque Directo: Aplicar agua directamente sobre el foco con disparos cortos de niebla.
- Ataque Indirecto: Si no se puede acceder por el calor, se aplica niebla desde el exterior por orificios o accesos mínimos para enfriar el local antes de la reentrada.

En el caso de que el compartimento sea accesible, se deberá realizar un ataque directo, siguiendo las instrucciones que se detallan en la doctrina. En cambio, en el caso de que esté impedido el acceso por las condiciones del compartimento, se deberán tomar medidas para mejorar las condiciones, permitir un ataque directo.

Finalmente, cuando se extingue el fuego, la incidencia no se debe dar por finalizada hasta completar una serie de acciones básicas para la extinción total de la incidencia [9]:

- Establecer la guardia de reignición: Se debe activar justo cuando se informa que el incendio está apagado. Está formada por un atacante y un aportador equipados con el EPI contraincendios correspondiente, el equipo respiratorio y comunicaciones. Siempre deberán tener una manguera alistada.
- Revisión de restos y enfriamiento de rescoldos: Simultáneamente a la guardia de reignición, un grupo de CI debe realizar una búsqueda minuciosa de puntos calientes. Se debe emplear obligatoriamente la cámara térmica.
- Evacuación de humos: Su objetivo es extraer los gases y productos de la combustión para conseguir una atmósfera segura, respirable e inocua.
- Comprobación de atmósfera: Consiste en asegurarse de que el personal puede entrar en el compartimento sin necesidad de protección respiratoria.
- Evaluación de daños: Fase final en la que se determina el alcance real de los daños estructurales y en equipos.

El cumplimiento de estas acciones garantiza la completa neutralización de la incidencia y la recuperación de las condiciones de seguridad en el compartimento.

2.3.4 Control de averías

El control de averías es componente fundamental de la Seguridad Interior (SI) que comprende el conjunto de organización, procedimientos y medios destinados a prevenir, reducir y corregir los efectos de accidentes o de la acción enemiga sobre el buque. Se debe evitar que las inundaciones o daños estructurales progresen, poniendo en peligro la flotabilidad y estabilidad [9].

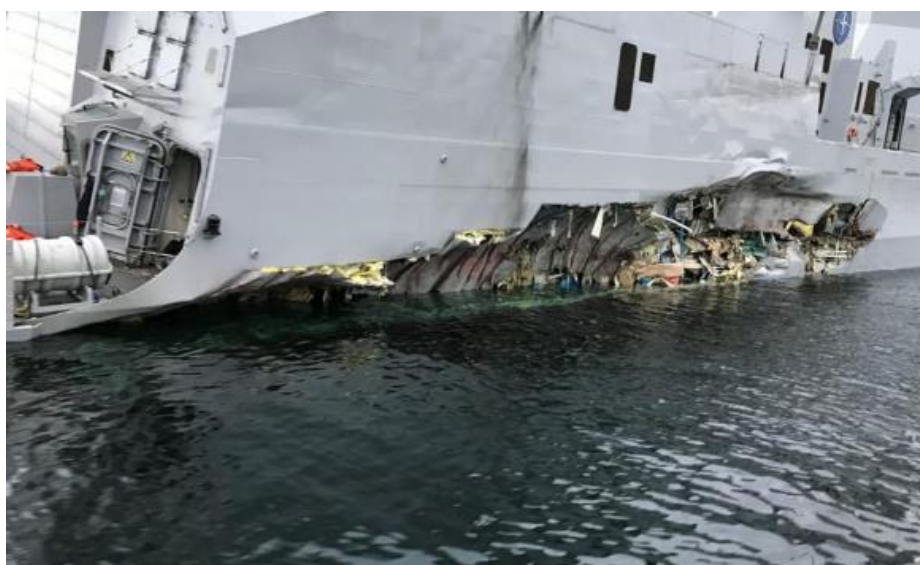


Figura 2-12 Fragata Helge Ingstad tras colisionar contra un petrolero [20-21]

En el presente trabajo, el control de averías se trata de uno de los escenarios básicos que se ejecutarán durante la simulación de las incidencias de seguridad interior [22]. Específicamente, se tratarán los siguientes pilares en los que se estructura este tipo de incidencias:

- **Gestión de inundaciones** [23, 9]:

Las inundaciones se pueden clasificar en función de su causa:

- Externas: Rotura del casco.
- Internas: Rotura de tuberías a presión.

Y en función de su capacidad de contención:

- Controladas
- Progresivas

Para continuar, uno de los objetivos es reducir la entrada de agua mediante el uso de tapones de madera, parches de plancha (metálicos o de madera), *cofferdams* (cajas de madera) o parches magnéticos. También se pueden emplear parches o abrazaderas para tuberías de baja presión. Además, se utilizan sistemas fijos (colectores y bombas principales) y medios portátiles como bombas eléctricas sumergibles y motobombas para eliminar el agua embarcada [23].

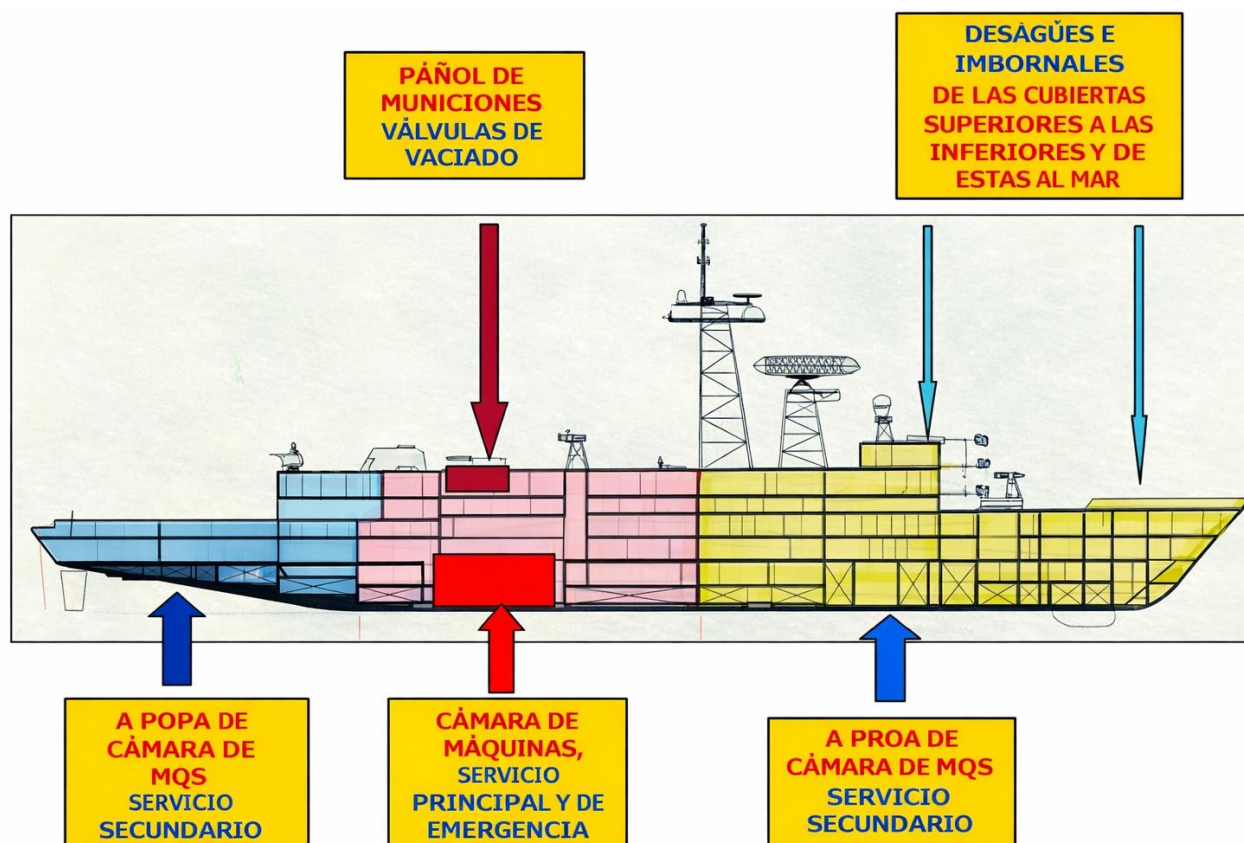


Figura 2-13 Diversos servicios de achique fijo a bordo [9]

Como ya se ha visto en el subapartado 2.3.1.2, dentro de la supervivencia del buque de guerra y como concepto básico, tenemos la estabilidad y la reserva de flotabilidad.

El control de averías busca mantener el metacentro (M) por encima del centro de gravedad (G) para asegurar un brazo de adrizamiento (GZ) positivo, lo que conlleva una situación óptima de estabilidad. [9] Se puede observar de forma gráfica con la Figura 2-7.

Asimismo, uno de los conceptos más importantes en la gestión de averías son los apuntalamientos (Figura 2-14). Consisten en refuerzos estructurales que sirven como instalación provisional de piezas de madera o metal para mantener la resistencia o estanqueidad de mamparos y cubiertas. Existen distintos tipos de métodos, siendo de los más comunes, el triangular (rápido y resistente a vibraciones), el rectangular (reparto de presiones más uniforme) y el de compresión directa (perpendicular a la estructura) [23].

Finalmente, la red eléctrica de averías permite alimentar equipos vitales (gobierno, propulsión y defensa, entre otras) cuando sus líneas normales han sido dañadas. Está formada por cables portátiles que se pueden puentear con el objetivo de conectar zonas dañadas [23].

En este contexto, el control de averías no solo se centra en la reparación de los daños producidos, sino también en la prevención de su propagación y en el mantenimiento de las condiciones de seguridad del buque. La correcta actuación del personal es fundamental para garantizar la estabilidad, la flotabilidad y la operatividad de la unidad en todo momento.

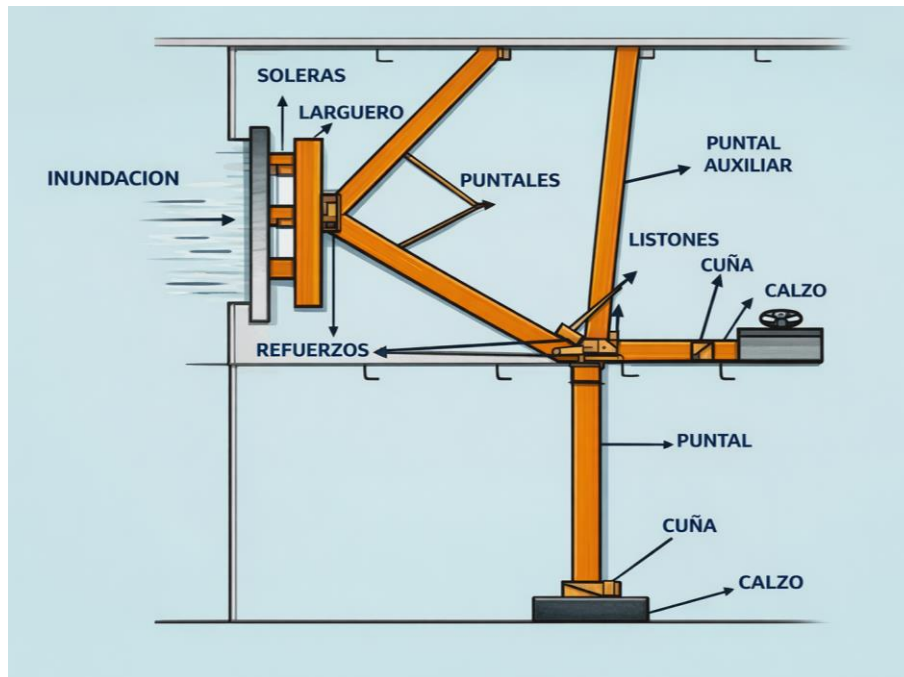


Figura 2-14 Ejemplo de un apuntalamiento con las piezas que lo constituyen [23]

Como se aprecia en la Figura 2-14, el apuntalamiento constituye una solución eficaz para reforzar estructuras dañadas de manera rápida y segura, permitiendo mantener la integridad del buque hasta la reparación definitiva.

2.3.5 Defensa NBQR

La Defensa NBQR (Nuclear, Biológica, Química y Radiológica) es una capacidad crítica de la Seguridad Interior, que debe permitir que el buque mantenga su operatividad y supervivencia frente a agresiones o incidentes provocados por agentes de esta naturaleza. Este tipo de ataques pueden ser intencionados o por una liberación accidental y provocados por numerosas causas como se refleja en la Figura 2-15 [24].

En la Armada, esta capacidad se integra dentro de la Seguridad Interior, compartiendo su organización y medios para garantizar la supervivencia del buque [25].

○ Componentes de la Defensa NBQR

A su vez, la Defensa NBQR se divide en dos tipos de protección física. En primer lugar, la protección individual, donde encontramos el EPI y la máscara de defensa NBQR. También tenemos la protección colectiva, formada por los siguientes elementos [24]:

- Ciudadela: Es una zona estanca del buque que se mantiene bajo sobrepresión (mínimo 500 pascales) con aire filtrado por carbón activo para permitir que la dotación pueda operar sin EPI.
- Santuarios: Compartimentos que se hacen estancos de forma temporal para el descanso o funciones operativas cuando la Ciudadela falla o no existe.
- Wasdown: Se trata de un sistema de rociadores externos que cubre el casco con una nube de agua salada.
- Estaciones de descontaminación: Consiste en el único punto de acceso permitido desde una zona contaminada hacia la ciudadela, donde los miembros de la dotación deben pasar por fases de desvestido y ducha monitorizada

Conviene señalar que, al igual que todas las incidencias de Seguridad Interior, se requiere de una organización básica en función del tipo de ataque y de una respuesta escalonada que resuelva exitosamente la incidencia.

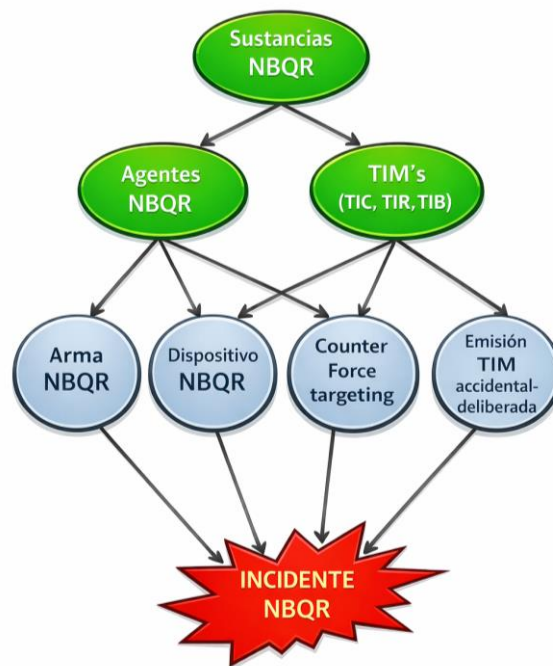


Figura 2-15 Esquema de posibles causas de incidentes NBQR [24]

La defensa se activa según niveles de amenaza (bajo, medio, significativo y alto), que determinan automáticamente las medidas de protección a adoptar. Para poder establecer estos niveles se deben seguir dos conceptos clave:

- Control de la Contaminación: Se encuentra ubicado en la central de Seguridad Interior; se trata de la célula que dirige a los trozos de reparación en las tareas de investigación y descontaminación.
- Niveles de Protección Individual (NPI): Varían desde el NPI 0 (faena básica) hasta el NPI 5 (protección total con máscara, traje, guantes y cubrebotas).
- **Innovación y nuevas amenazas:**

La estrategia tecnológica ETID impulsa el desarrollo de EPI inteligentes con sensores que detectan el agotamiento de los filtros y materiales autodescontaminantes, así como nuevas iniciativas de descontaminación a través de plasma frío [4].

A nivel internacional, iniciativas como la PSI (Iniciativa de Seguridad contra la Proliferación) establecen procedimientos para el abordaje y registro en el mar de buques sospechosos de transportar armas de destrucción masiva [26]. Consisten en acciones llevadas a cabo de manera continuada por las Fuerzas Armadas españolas en sus diferentes ámbitos.

2.4 Simulación de Seguridad Interior

2.4.1 Conceptos generales

Con este subapartado se complementan los conceptos presentados en el punto 2.2, basados en la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), junto con la aportación de un punto de vista aplicado a los conceptos básicos en materia de Seguridad Interior, propios de la formación integral de los oficiales de la Armada [27].

Primeramente, la simulación en el ámbito de la defensa se define como una abstracción de la realidad que está diseñada para representar de forma simplificada un sistema, entidad o proceso, con el objetivo

de permitir que un modelo opere bajo reglas definidas sin que el sistema real se vea afectado [28], en este caso, el buque de guerra en el que tendrían lugar las incidencias de SI.

Siguiendo la doctrina actual, la cual aparece reflejada en Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID) (Figura 2-1), clasifica los simuladores en tres grandes grupos según su naturaleza [22-23]:

- Simulación en vivo: Hace uso de personas reales operando sistemas reales en entornos físicos, donde solo los efectos son simulados mediante tecnología.
- Simulación virtual: Personas reales operan en sistemas que son simulados.
- Simulación constructiva: Emplea tanto a personas como sistemas simulados que operan en ambientes digitales.

Sin embargo, para este trabajo y como ya se diferenció en el apartado 2.2.2, se deben diferenciar los principales usos que tiene la simulación según su finalidad operativa. En las escuelas y centros de formación de la Armada, se pueden encontrar varios de estos centros, en función de sus necesidades y objetivos de aprendizaje [30].

Es decir, podemos diferenciar entre [28]:

- Instrucción: está enfocada en la preparación individual del personal con el principal objetivo de adquirir destrezas técnicas en un puesto en específico. Este trabajo se encuentra dentro de esta finalidad, ya que sirve como simulador para la preparación individual.
- Adiestramiento: A diferencia de la instrucción, este está orientado al trabajo en equipo y la coordinación colectiva de unidades militares. Se enfoca desde un punto de vista práctico, donde no se valoran tanto los conceptos teóricos sobre la materia, sino la puesta en práctica y capacidad de ejecución del personal [31].

Dentro de la Armada, se utilizan simuladores de navegación como SIMNAV (Simulador de navegación), tácticos como GALEÓN y de control de plataforma como SICP (Sistema Integrado de Control de Plataforma). A su vez, como veremos en el siguiente apartado, para prácticas de Seguridad Interior se destacan dos tipos distintos de simuladores enfocados en la supervivencia del barco, en función de la finalidad operativa que se desee alcanzar.

2.4.1.1 La gamificación

La gamificación consiste en el uso de mecánicas, dinámicas y elementos propios del diseño de juegos en contextos que no son lúdicos, como el ámbito profesional o educativo. Tiene como principal objetivo absorber conocimientos, mejorar habilidades o recompensar acciones concretas mediante una estructura de reglas, definiendo una serie de retos, niveles y recompensas [32].

Cabe destacar que este concepto es distinto al de un videojuego convencional, ya que mientras que un videojuego busca el entretenimiento, la gamificación en este proyecto se emplea para apoyar el aprendizaje inmersivo y experiencial. Por tanto, la gamificación no se emplea para el disfrute del usuario, sino para potenciar la motivación de los usuarios que van a emplearla [33]. Además, también permite automatizar los procedimientos en entornos seguros, ya que todo es simulado, por lo que permite repetir maniobras críticas y tomar decisiones bajo estrés sin riesgo de lesiones físicas o daños al material real [34].

Por último, también permite optimizar el gasto y la eficiencia de la formación del personal, ya que permite sustituir el uso de combustibles, gas y otra logística que en la vida real tiene un coste por una simulación virtual en la que se pueden repetir los procedimientos de forma continuada sin aumentar los gastos.

2.4.2 Simuladores de Seguridad Interior en la Armada

En la Armada, el adiestramiento en Seguridad Interior y supervivencia es una prioridad crítica, ya que de ello depende que el buque mantenga su capacidad ofensiva o logre regresar a puerto tras sufrir

daños. La doctrina en la que se basan estos conceptos se mantiene en constante cambio y evolución, adaptándose a las nuevas actualizaciones que surgen con la rápida evolución de las nuevas tecnologías. [9-10]

La Armada dispone de dos centros para este tipo de formación:

- **CASI (Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior):**

El CASI de mayor importancia se encuentra ubicado en la Base Naval de Rota (BNR) y fue inaugurado en 2013 con el objetivo de dar a la Flota una instalación de vanguardia tecnológica que superara las capacidades existentes hasta ese momento en la Armada [35].

Asimismo, el CASI de Rota cuenta con numerosas capacidades para el adiestramiento del personal, entre las que destaca por incendios con aeronaves, accidentes con derrames de combustible y defensa NBQR [28].



Figura 2-16 Ejercicio contra incendios en operaciones de vuelo en el CASI de BNR [35]

Para continuar, cuenta con tres módulos de adiestramiento, en función de las características de la formación que se desee llevar a cabo [35]:

- Módulo de buque: Una maqueta tipo fragata con apariencia estanca, compartimentación y rotulación real, donde existen salas de fuego en los compartimentos con mayor riesgo del buque real.
- Módulo de aeronaves: Tienen maquetas de un avión *Harrier* y un helicóptero *Sea King* con fuegos activos para entrenar al personal de cubierta de vuelo. Se puede observar un ejercicio de contra incendios con el empleo del helicóptero en la Figura 2-16.
- Módulo de derrames: Emplean parrillas exteriores para manchas de combustible con llamas que pueden alcanzar los seis metros de altura.

Existen otros centros de adiestramiento localizados en otras bases y escuelas, aunque de menor tamaño y capacidades que la de la Base Naval de Rota. Un claro ejemplo es el CASI de la Escuela Naval Militar de Marín, centro de formación para los oficiales de la Armada, en el que se instruyen en materias básicas de Seguridad Interior.

- **CISI (Centro de Instrucción de Seguridad Interior):**

Se encuentra ubicado en Ferrol, dentro de la Escuela de Especialidades "Antonio de Escaño", es el centro histórico de referencia con más de 30 años de experiencia [6].



Figura 2-17 Vista frontal del adiestrador de contraincendios [6]

De igual modo, el CISI se centra en la instrucción de contraincendios (mediante un sistema medioambientalmente limpio alimentado por gas propano) y el control de inundaciones, a través de varios compartimentos adaptados para ejercicios de averías. Además, tiene varias instalaciones para la instrucción en defensa NBQR.

Todos estos conceptos se desarrollan en varias instalaciones diferenciadas. En primer lugar, disponen de adiestradores de contraincendios, específicamente, de 10 escenarios interiores que simulan compartimentos de un buque y 3 zonas de fuego exterior, algunos de los cuales se pueden observar en la Figura 2-17. También tienen un compartimento de inundación que está diseñado para ejercicios de control de vías de agua y apuntalamiento [6, 28].

Cabe destacar la existencia de un aula de medio ambiente, inaugurada en 2005, siendo la primera planta didáctica en España dedicada a la gestión integral de residuos a bordo de buques [6]. Además, en la Figura 2-17, en la parte de proa, se encuentran numerosos compartimentos para la instrucción en Defensa NBQ.

Actualmente, el CISI de Ferrol se encuentra en un proceso de modernización de media vida (MLU) para integrar un adiestrador de control de averías dinámico (DRIU - *Damage Repair Instructional Unit*) que permita recrear escenarios más variables y realistas, similares a los de otras marinas de la OTAN [6].

2.4.3 La simulación virtual en Seguridad Interior

La simulación virtual en Seguridad Interior se ha convertido en una herramienta indispensable dentro de la etapa de preparación (2.3.2) de la Armada, permitiendo que las dotaciones se enfrenten a situaciones de extrema peligrosidad en un entorno controlado y sin riesgos físicos [9, 28].

Además, todos estos sistemas tratan de trasladar la realidad a un entorno en el cual, sin peligrosidad, se pueden automatizar respuestas ante incendios, inundaciones o incidentes NBQR a un coste reducido.

De acuerdo con la doctrina de Defensa y la Estrategia ETID 2020, la simulación virtual es una de las tres patas del modelo LVC (*Live, Virtual, Constructive*), como se puede observar en la Tabla 2-2, en el cual se involucra a personas reales operando sistemas simulados, como vimos en el punto 2.4.1. En este tipo de simulación, se sumerge al jugador en escenarios digitales donde los efectos y el material forman parte de la simulación [4].

AVANCES TECNOLÓGICOS CON POTENCIAL DISRUPTIVO PARA DEFENSA**Adiestramiento avanzado mediante simulación**

“Desarrollar medios de simulación LVC (*Live/Virtual/Constructive*) multiusuario que permitan conseguir un nivel de instrucción y adiestramiento de las FAS lo más realista posible, que incorporen mecanismos de monitorización del comportamiento del personal para su posterior análisis, y que les posibilite llevar a cabo las misiones que se les encomienden en los escenarios previstos con eficiencia y seguridad.”

Tabla 2-2 Adiestramiento avanzado mediante simulación según ETID 2020 [1]

Asimismo, con la Armada 4.0 se impulsan varias herramientas digitales avanzadas con el objetivo de integrar varias tecnologías [28]:

- Gemelo digital: El desarrollo de las fragatas F-110 y submarinos S-80 incluye maquetas digitales únicas que sirven de base para la simulación del sostenimiento de las unidades y de la supervivencia en materia de Seguridad Interior, entre otras.
- Realidad virtual e inmersión: Se busca un alto grado de inmersión del usuario a través de dispositivos de realidad virtual, que ayudan al cerebro a percibir la situación de emergencia como real, incluyendo factores de estrés, oscuridad y pérdida de visibilidad por humo, entre otros factores.

Un claro ejemplo de simulador virtual y como una de las fuentes en las que se basa en el presente proyecto, es el simulador del SST Training Center ubicado en Sevilla, siendo el centro de formación más grande del sur de Europa [36].

Como se observa en la Figura 2-18, el CESIGEM (Centro de Simulación Avanzado para Gestión de Emergencias y Mando) sirve como simulador virtual de comunicaciones y gestión ante incidencias de Seguridad Interior. Cuenta con numerosos centros de ejecución de estos simuladores, con el objetivo de proporcionar formación al personal y permitir llevar a cabo una valoración de los procedimientos [36].



Figura 2-18 CESIGEM del SST Training Center de Sevilla [36]

2.5 Software y equipo

Para el desarrollo del escenario virtual interactivo se han empleado varios equipos y software que se explicarán en este subapartado. En primer lugar, se explicarán brevemente el software principal empleado, así como varios programas empleados a mayores para complementar el proyecto. Además, se expondrá de forma teórica y visual el equipo que ha sido utilizado durante la ejecución de todo el trabajo.

2.5.1 Software

Como principal software empleado para todo el desarrollo del escenario, se encuentra el Unreal Engine 5.7.1, mostrado en la Figura 2-19. Además, también han sido empleados otros programas como la Epic Games Store para la descarga de software de los que hablaremos más adelante.



Figura 2-19 Software empleados en el proyecto (Autoría propia)

Los principales usos de software secundarios son el empleo de estos como biblioteca virtual de actores y otros elementos para el diseño del escenario, explicados en el punto 2.5.1.3, así como el diseño asistido por ordenador para tratar de mejorar la calidad del proyecto.

2.5.1.1 Epic Games

Epic Games es una compañía estadounidense de tecnología y desarrollo de videojuegos fundada en 1991 por su actual director ejecutivo, Tim Sweeney. Tiene sede en Cary, Carolina del Norte, y actualmente, se trata de un líder global en el sector de entretenimiento y en la tecnología de motores gráficos 3D [37].

A través de este programa se ofrece una gran variedad de servicios y aplicaciones de libre uso para los usuarios, como se puede observar en la Figura 2-20. Asimismo, pueden complementarse con actores que se adquieren a través de bibliotecas virtuales como FAB, que ofrece el propio programa.

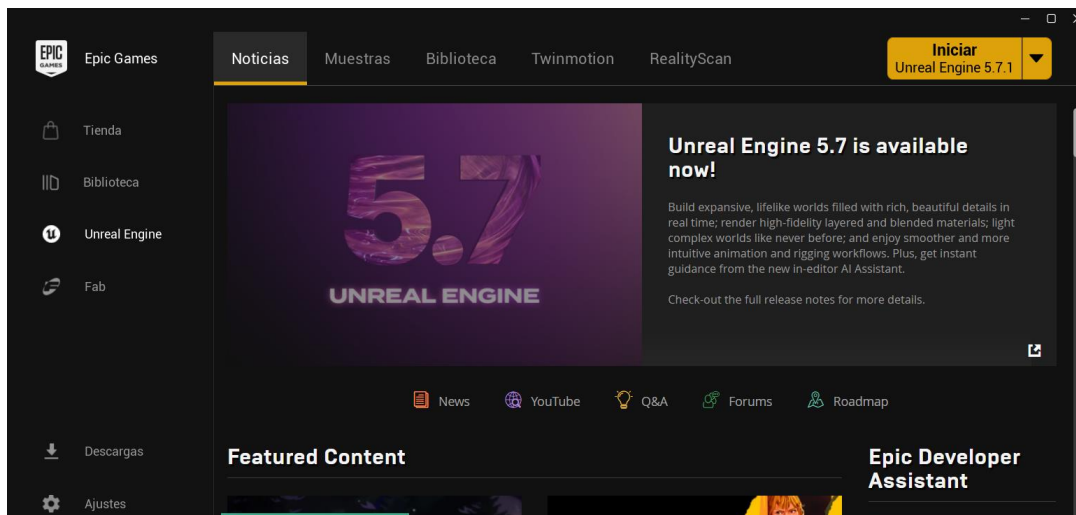


Figura 2-20 Interfaz principal de Epic Games (Autoría propia)

2.5.1.2 Unreal Engine

Unreal Engine es un motor de juego de código abierto desarrollado, como se dijo anteriormente, por la compañía estadounidense Epic Games [38]. Además, este programa aporta una gran cantidad de herramientas que permiten el desarrollo de contenido 3D, con diseños gráficos de alta calidad y animaciones con sonidos y de numerosas formas.

El origen de este programa está en los videojuegos; sin embargo, gracias a las grandes capacidades que ofrece, han provocado que se emplee en otros aspectos como la arquitectura, la fabricación y la simulación militar, como es el caso del presente proyecto.

Para continuar, en este proyecto se ha empleado la versión de Unreal Engine 5.7, como última actualización del programa ofrecida por la Epic Games Store. Además, durante la realización del proyecto se hicieron pruebas de texturas, mallas y materiales en versiones anteriores como Unreal Engine 5.4.4 debido a una mejora de las condiciones que ofrece esa versión para varios paquetes de actores obtenidos a través de Fab.

En el caso de crear un nuevo proyecto en Unreal Engine 5.7, se tendrían que seguir los pasos de la Figura 2-21.

Como también se puede observar en la Figura 2-21, en la creación de un nuevo proyecto pueden ser seleccionados dos tipos distintos de lenguaje de programación, C++ y Blueprints.

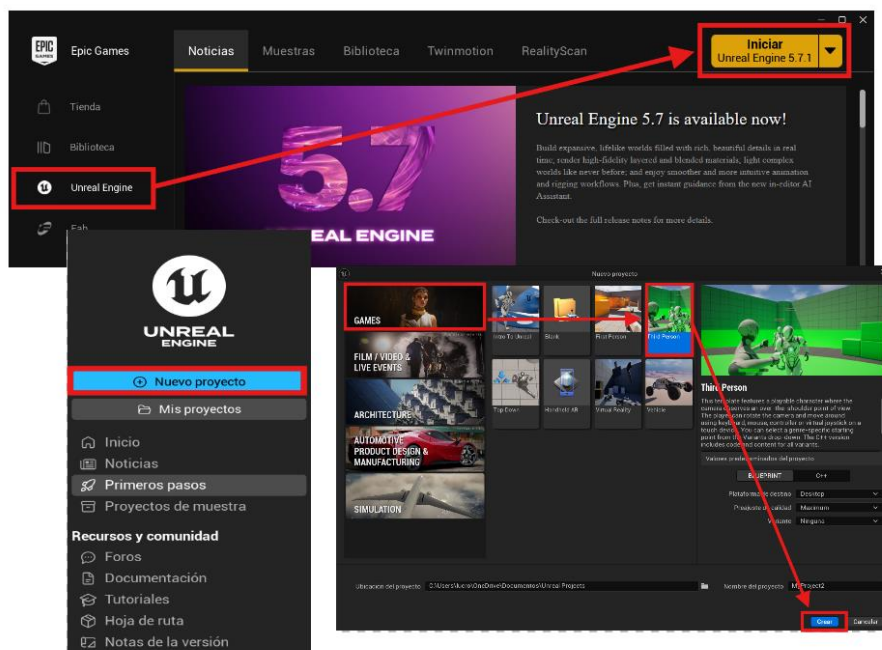


Figura 2-21 Cómo crear un proyecto nuevo en Unreal Engine 5.7 (Autoría propia)

En el presente proyecto se ha empleado este último, siendo un sistema de programación visual que permite crear lógica, comportamiento e interacciones sin escribir código, usando nodos conectados entre sí [38].

2.5.1.3 Mercado digital Fab

Fab se trata de un nuevo mercado digital unificado que fue lanzado en 2024 por Epic Games. Surgió con el objetivo de centralizar y unificar recursos que anteriormente se encontraban repartidos en varios servicios, como eran *Unreal Engine Marketplace*, *Sketchfab Store* y *Quixel Megascans* [37].

A través de este gran mercado, en este trabajo se ha adquirido una amplia variedad de activos, que incluyen modelos 3D, entornos completos, efectos visuales, audios y animaciones de alta calidad, con los que se ha podido diseñar gran parte del entorno virtual interactivo.

En esta biblioteca digital, se pueden adquirir distintos paquetes de recursos, tanto de pago como de libre uso. Estos últimos son más limitados y ofrecen una menor variedad que los de pago. A su vez, se pueden adquirir distintos paquetes en función de la versión del programa que se esté empleando, con el objetivo de llevar a cabo construcciones, normalmente modulares, del escenario virtual.

En la Figura 2-22 se puede observar la interfaz principal, desde la Epic Games Store, del mercado digital Fab.

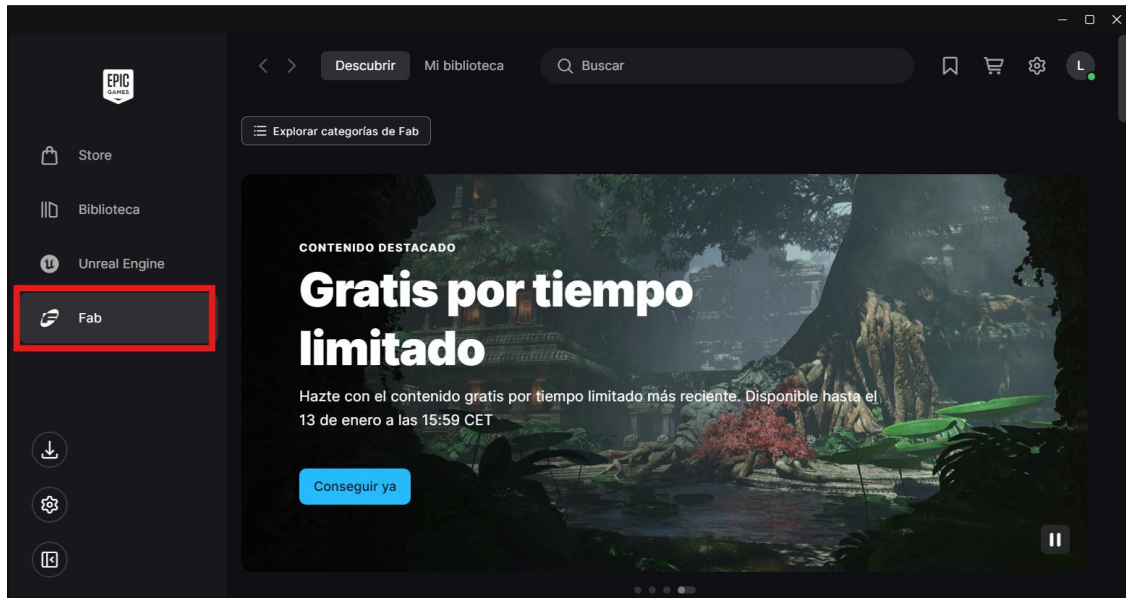


Figura 2-22 Interfaz principal de Fab (Autoría propia)

Como se observa, esta plataforma permite acceder de forma intuitiva a una amplia variedad de recursos digitales que facilitan el desarrollo de entornos virtuales complejos.

2.5.2 Equipo y material empleado

El presente trabajo se ha desarrollado en el espacio de trabajo del Laboratorio de Realidad Virtual dentro de los Laboratorios de Investigación del CUD, como se muestra en la Figura 2-23.



Figura 2-23 Espacio de trabajo empleado en el proyecto (Autoría propia)

Para el desarrollo del proyecto, se ha dispuesto de un ratón ergonómico, una pantalla, un teclado y una CPU que ofrece grandes prestaciones, suficientes para las exigencias de memoria del software que

se ha empleado en el trabajo. Este equipo dispone de 32 GB de memoria dedicada, lo que es necesario para poder desarrollar un escenario virtual de instrucción militar básica en Seguridad Interior.

Para continuar, fijándose en el hardware del ordenador, como se observa en la Figura 2-23, se trata de un ordenador de sobremesa montado a medida, de alto rendimiento y orientado para juegos, simulación 3D, realidad virtual o cálculo gráfico.



Figura 2-24 Xbox controller (Autoría propia)

Además, dispone de una tarjeta gráfica EVGA GeForce RTX 3080, de gama alta y muy potente, óptima para realidad virtual, renderizado 3D, etc. Tiene un consumo elevado, por lo que requiere una buena fuente y ventilación.

A su vez, en cuanto a ventilación, emplea un disipador de CPU, ABYSM de aire, siendo un disipador de torre con múltiples *heatpipes* de cobre. Este componente indica una CPU potente, donde da prioridad a una refrigeración fiable como la de aire, frente a una refrigeración líquida.

Seguidamente, como parte del material que se ha utilizado para el uso del simulador, se ha empleado un mando de Xbox como un dispositivo de entrada alternativo al teclado y al ratón convencionales, tal y como se muestra en la Figura 2-24. Además, el objetivo principal de su utilización es implementar un modo de control que sea más ergonómico e intuitivo, para poder mejorar la experiencia del usuario durante la simulación.

3 DESARROLLO

3.1 Descripción del apartado

En este apartado del trabajo se desarrolla con detalle el escenario virtual interactivo para instrucción militar básica en Seguridad Interior. Con el objetivo de reproducir el escenario virtual de forma detallada y concisa, se llevará a cabo una explicación que comenzará con conceptos generales, es decir, el diseño del escenario en sí. Posteriormente, se irá especificando más en detalle cada una de las fases en las que se desarrolla el trabajo.

En primer lugar, se detallará cómo se ha llevado a cabo el modelado de los componentes que forman el escenario, junto con los detalles que dan pie al objetivo de llevar a cabo la formación del personal en instrucción militar en Seguridad Interior.

A continuación, se hablará de la programación que incluye el proyecto y que proporcionará la interactividad del usuario con el programa. Finalmente, se creará un sistema de evaluación del personal que se enfrente a las incidencias de Seguridad Interior en el escenario, con el objetivo de valorar por parte del instructor los conocimientos adquiridos por el alumno.

La Figura 3-1 muestra de forma esquemática las principales etapas del desarrollo del proyecto, desde el diseño del escenario hasta su programación e implementación final en el entorno de simulación. Estas etapas se pueden apreciar gráficamente en la Figura 3-1.



Figura 3-1 Etapas del trabajo (imagen generada por IA (ChatGPT 5.2))

3.2 El escenario y aplicación

En el presente apartado se muestra el proceso de adquisición del entorno seleccionado, así como los criterios técnicos que se han seguido para la programación y modelado de los actores que forman el escenario. A su vez, se desarrolla la principal aplicación del simulador diseñado, como se ha distribuido el escenario y cuál es el método de evaluación que se va a seguir durante la ejecución del proyecto.

3.2.1 *Aplicación del simulador*

Para la selección del escenario óptimo, se ha establecido previamente cuál va a ser la aplicación que tendrá el simulador de Seguridad Interior dentro de la formación del personal de la Armada. Como se ha visto en el Estado del arte, actualmente existe un gran número de simuladores y escenarios interactivos dentro de las Fuerzas Armadas y en particular, dentro de la Armada. Estos se encuentran en la mayoría de los casos dentro de los centros de formación de los que se dispone en la Armada, siendo el presente proyecto, tal como se indica en el título, un escenario virtual que permite la interacción entre el alumno y el simulador con el objetivo de conseguir una excelente instrucción del usuario en materia de Seguridad Interior.

Asimismo, se busca que el simulador sirva para llevar a cabo una evaluación exhaustiva de los alumnos, que atiendan por su plan de estudios a las asignaturas de Seguridad Interior, de obligada enseñanza para el personal de la Armada, independientemente del rango militar dentro de esta. No solo servirá como herramienta de evaluación, sino que también será posible la instrucción del personal, con el objetivo de aplicar de manera práctica y realista los conceptos que hayan sido impartidos de manera teórica durante las clases, y que sean parte de las competencias que exija la guía docente de la asignatura. En base a los Objetivos establecidos anteriormente, el escenario empleado se ha elegido en función de la aplicación descrita, buscando la máxima optimización, eficiencia y efectividad de esta.

3.2.2 *Selección del entorno*

En primer lugar, para llevar a cabo la selección de un entorno óptimo para el simulador, se ha buscado representar un escenario lo más realista posible y donde el personal que lo emplee pueda reconocer fácilmente tanto el entorno como las incidencias de Seguridad Interior que vayan teniendo lugar durante la ejecución del ejercicio. Para el desarrollo de este entorno se seleccionarán ideas de edificios y simuladores de otros centros de instrucción y adiestramiento reales, de los que se hará un modelado 3D, pero adaptándolos a las necesidades para la formación del usuario en el escenario virtual.

Como principal fuente de selección del entorno se encuentra el CISI de Ferrol, situado en la Escuela de Especialidades de la Armada “Antonio de Escaño”, como se detalla en el subapartado 2.4.2. siendo el centro de referencia y excelencia de la Armada para la protección del personal y la supervivencia de las unidades de la Flota [6]. Este centro de instrucción cuenta con infraestructuras especializadas que permiten llevar a cabo una formación realista con un alto grado de seguridad.

A su vez, debido a las semanas de I+A (Instrucción y Adiestramiento) de la Escuela Naval Militar, se ha podido disponer de información de primera mano por parte de los jefes, profesores e instructores que imparten la formación en este centro. De las numerosas instalaciones de las que dispone este centro, se ha hecho gran hincapié en el trabajo en dos de ellas:

- **Adiestrador de contraincendios:** Instalado en el año 2000, fue el primero en Europa en ser medioambientalmente limpio, utilizando gas propano. Dispone de 10 escenarios interiores que simulan compartimentos de un buque y 2 zonas de fuego exterior observables en la Figura 2-17.
- **Compartimento de inundación:** Diseñado para ejercicios de control de vías de agua y apuntalamiento. Cabe destacar que, como fuente principal para los edificios de control de averías, se han empleado otros planos de proyectos no ejecutados por la empresa constructora, fruto de proyectos de modernización del CISI por parte de la Armada.



Figura 3-2 Vista aérea del CISI (2017) [10]

Para continuar, en el desarrollo de otros componentes del escenario también se ha empleado el CASI de la Escuela Naval Militar de Marín. Particularmente, se ha empleado el montaje modular mediante contenedores industriales de transporte, comúnmente empleados para representar de forma realista los compartimentos que forman mamparos y cubiertas en un buque. En este tipo de simuladores se consigue recrear de forma fidedigna las incidencias de fuego en compartimentos cerrados, donde el calor y el vapor de agua generado con las mangueras conllevan situaciones de estrés y agobio de alta intensidad, ante las que cualquier miembro de la dotación debe estar excelentemente formado. Del mismo modo, las parillas para la simulación de fuegos también han sido basadas en las que dispone CASI de la Escuela Naval Militar.

Cabe destacar que todos estos conceptos desarrollados brevemente para la explicación de cómo ha sido seleccionado el escenario serán explicados en profundidad en cada uno de los subapartados correspondientes.

3.2.2.1 Selección de las incidencias

Como objetivo final del presente proyecto se encuentra realizar un sistema de formación y valoración de los usuarios que hagan uso del simulador. Para seleccionar las incidencias más óptimas y que mejor se adaptan a los escenarios y componentes que forman el entorno interactivo, se han empleado bancos de preguntas de múltiple elección proporcionadas por los centros de formación durante los periodos de instrucción y adiestramiento que se realizan a los alumnos de la Escuela Naval Militar. A su vez, la mayoría de las incidencias son fruto de plantillas de exámenes y pruebas de nivel en materia de Seguridad Interior.

En función del escenario virtual en el que se encuentre, se pueden diferenciar distintos tipos de incidencias, que representan los pilares fundamentales de la supervivencia del buque y la Seguridad Interior, permitiendo que la plataforma mantenga su capacidad de combate o pueda regresar a puerto tras sufrir daños [10], [9]:

- Incidencias contraincendios: Se busca practicar una respuesta rápida para evitar que un fuego en fase de crecimiento alcance el estado de *flashover* (combustión súbita generalizada), es decir, donde la supervivencia en el compartimento es improbable.
- Incidencias de control de averías: Se debe poner en práctica la suma de esfuerzos para evitar que los daños iniciales relacionados con inundaciones se conviertan en fallos catastróficos que hundan el buque.

- Ataques e incidentes NBQR: La formación en esta materia se fundamenta en la mitigación de los efectos de agentes tóxicos, ya sean armas de uso intencionado o bien liberaciones por accidente.

Al mismo tiempo, todos estos tipos de incidencias desarrolladas anteriormente serán mostrados a través de elementos modelados gráficamente y posteriormente programados, con el objetivo de que la ejecución de los ejercicios sea lo más realista y útil posible.

3.2.3 Distribución del escenario virtual

Para empezar, en la Figura 3-3, se muestra una vista aérea general del escenario virtual diseñado en el presente proyecto, en la que se puede apreciar la organización espacial completa del entorno de simulación. La distribución ha sido realizada siguiendo una separación funcional de áreas y permitiendo gestionar una división de las infraestructuras correcta y coherente. Cada edificio representado, pese a existir cuatro áreas distintas, ha sido diseñado de forma independiente del resto, lo que permite que puedan existir varias zonas de contraincendios, una zona de control de averías y otra de NRBQ. Asimismo, como se puede leer en el apartado 3.2.4, cada edificio tiene su sistema de evaluación independiente en el que se puede obtener una valoración de las distintas áreas que forman la Seguridad Interior.

Seguidamente, el escenario se encuentra estructurado en cuatro áreas temáticas principales, que se diferencian tanto visualmente como funcionalmente. En primer lugar, la zona inicial, representada en color rojo, supone el punto de partida del usuario. Se trata de una zona en la que se produce la adaptación del usuario al entorno del proyecto, comprendiendo la dinámica de la simulación y recibiendo las instrucciones iniciales.

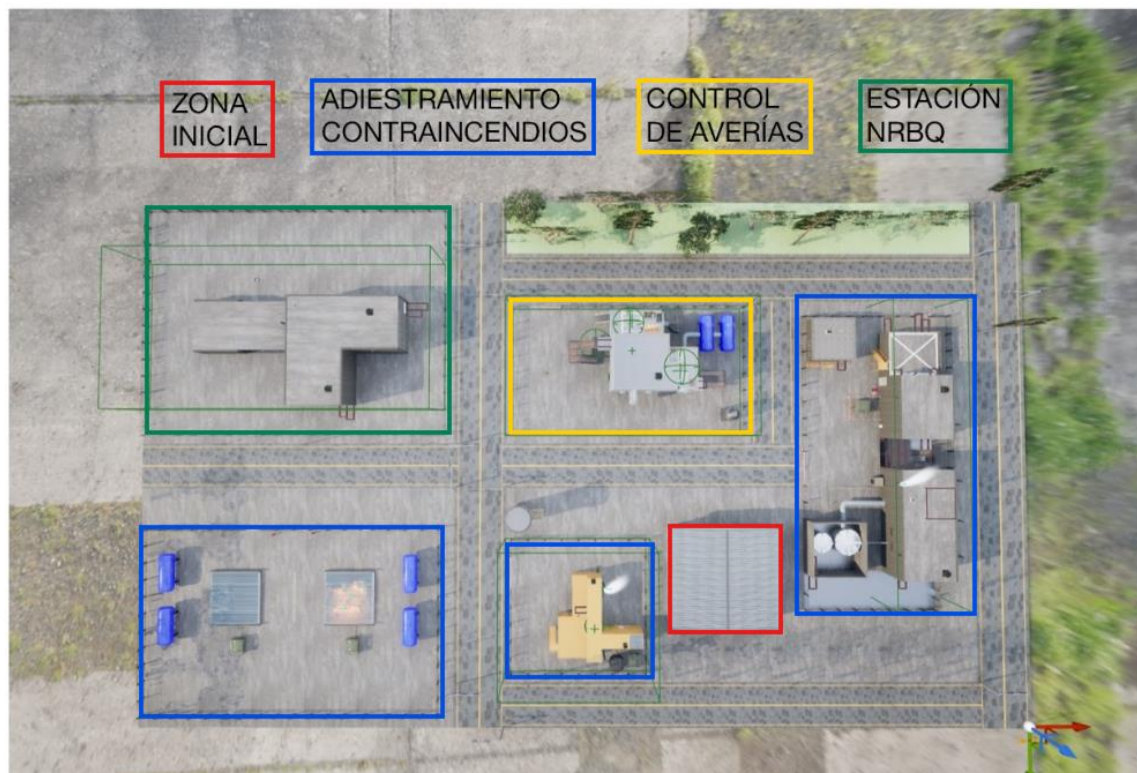


Figura 3-3 Vista aérea del escenario virtual y sus zonas (Autoría propia)

En segundo lugar, la zona de adiestramiento contraincendios se divide en varias zonas del escenario virtual, al ser el principal aspecto y el más común, dentro de la Seguridad Interior. En esta temática se incluyen dos edificios contraincendios destinados a la simulación de incendios y humos, así como una zona de parrillas exteriores para poder simular incendios de grandes dimensiones expuestos a las

condiciones meteorológicas que se podrían dar, por ejemplo, en una cubierta de vuelo de un barco. Estas zonas se representan en color azul, dentro de la Figura 3-3.

Para continuar, la zona de control de averías cuenta con una infraestructura característica de este tipo de simuladores, representada en color naranja en la Figura 3-3. Se trata de un espacio destinado a simular incidentes relacionados con la integridad estructural de los barcos, las fugas y las inundaciones, permitiendo el adiestramiento del personal en la detección temprana de averías y la toma de decisiones bajo presión.

Finalmente, en el extremo superior izquierdo de la Figura 3-3 y de color verde, se sitúa la zona destinada a simular las amenazas NRBQ (Nuclear, Radiológica, Biológica y Química). En este espacio se encuentra un edificio donde está simulada una estación de descontaminación típica de las fragatas F-100 de la Armada, de la clase “Álvaro de Bazán”, en la que se busca simular los procedimientos correctos a seguir en caso de tener que llevar a cabo la descontaminación del personal. A su vez, la zona exterior simula varios casos teóricos en los que se trata de aportar un mayor realismo y un apoyo visual para mejorar el adiestramiento del personal en esta materia, como las partes que forman los equipos de protección y qué elementos se pueden encontrar en un barco para protegerse de la radiación.

En la Figura 3-4, se muestra una imagen general del escenario virtual que ha sido explicado en este mismo apartado, en el que se observan todos los edificios que forman el nivel.



Figura 3-4 Imagen general del escenario virtual (Autoría propia)

Tal y como se aprecia en la Figura 3-4, la distribución del escenario permite diferenciar claramente las distintas zonas de adiestramiento, facilitando una organización coherente de los ejercicios y una mejor comprensión del entorno por parte del usuario.

3.2.4 Métodos de formación y evaluación

Con el objetivo de poder aportar al escenario virtual de un sistema de evaluación estructurado, se ha implementado una lógica de puntuación independiente para cada uno de los edificios diseñados dentro del simulador. Cada edificio se trata de una unidad de evaluación autónoma, por lo que el rendimiento del usuario se puede analizar por partes, permitiendo valorar de forma diferenciada las distintas competencias que se adquieren en cada zona.

En cada una de las infraestructuras, se ha incorporado un conjunto de 10 preguntas de elección múltiple con tres respuestas, relacionadas con procedimientos y las decisiones tomadas durante la simulación. Por tanto, la puntuación máxima que se puede adquirir en cada edificio es de 10 puntos.

Seguidamente, en relación con los criterios de calificación establecidos, se ha fijado como requisito para superar cada edificio la obtención de un mínimo de 7 puntos sobre 10. Como cada escenario incorpora un total de diez preguntas evaluativas, el usuario deberá responder correctamente al menos siete de ellas para alcanzar la condición de apto.

Este umbral garantiza que la superación del edificio no dependa de un conocimiento parcial, sino que refleje un grado adecuado de comprensión y aplicación de los contenidos trabajados durante la simulación.

Finalmente, cabe destacar que la puntuación obtenida es independiente de cada edificio y se reinicia de manera automática al acceder a una nueva zona del escenario, con el objetivo de garantizar que cada bloque se evalúe de manera autónoma. En el apartado 3.4.7 se muestra la lógica que se ha empleado a través de Blueprints para poder simular y ejecutar de manera óptima este sistema de calificación.

3.3 Diseño y modelado

Para el desarrollo del simulador inmersivo se requiere una fase inicial donde se defina de forma visual y estructurada cuál va a ser el entorno donde tendrá lugar la experiencia. Destaca la gran importancia de recrear situaciones que sean realistas y coherentes, ya que uno de los principales objetivos es conseguir representar espacios y objetos que faciliten la interacción del usuario con el sistema.

En este apartado se va a desarrollar la creación del entorno virtual del simulador, comenzando con una introducción de cuáles son las herramientas básicas del motor gráfico empleado para el diseño del entorno. Además, se llevará a cabo una explicación de la distribución del escenario en las distintas zonas en las que se ha repartido, especificando el objetivo con el que ha sido diseñada cada una de las zonas y el progreso seguido, de lo más general, a lo más específico. En cada uno de los apartados, se justificará la incorporación de los elementos que sean esenciales para el correcto desarrollo de la programación, bien sea sobre el diseño o sobre la programación.

Asimismo, con la programación a través de Blueprints se consigue aportar el realismo necesario para un correcto funcionamiento del simulador, donde el código desarrollado a lo largo del presente proyecto también se detalla en cada uno de los apartados.

3.3.1 Creación del proyecto

En primer lugar, en este subapartado se redactan los pasos iniciales tomados en la primera fase del proyecto a través de Unreal Engine. Estos apartados iniciales son necesarios para el entendimiento general del trabajo, ya que se trata de los cimientos del diseño del escenario virtual interactivo.

3.3.1.1 Selección de la plantilla inicial

Después de completar la instalación de Unreal Engine en su versión 5.7 (ver apartado 2.5.1.2), se procede a la creación del escenario virtual que será la base del proyecto. Para la selección de la plantilla inicial o *template* inicial, se han considerado todos los objetivos que tiene el trabajo, ya que una elección adecuada de esta condiciona las características del proyecto, así como la facilidad de implementación de las funcionalidades previstas.

En primer lugar, al arrancar el motor gráfico, se abre el navegador de proyectos como se muestra en la Figura 2-21. Siguiendo los pasos de esta misma figura, se puede observar que para elegir un nuevo proyecto se nombran varias categorías predefinidas, entre las cuales debemos elegir la más óptima para el proyecto. Entre todas estas, se observan ámbitos de aplicación como la experiencia en realidad aumentada, el desarrollo de videojuegos, simuladores de videojuegos, proyectos audiovisuales... Por lo tanto, dadas las características y objetivos del proyecto, se ha optado por la categoría de juegos (*Games*),

la cual está diseñada específicamente para aplicaciones que pueden ser controladas por el usuario y también pueden ser ejecutadas en tiempo real.

A continuación, habiendo elegido la categoría, se debe escoger entre todas las plantillas iniciales que ofrece el motor gráfico como se observa en la Figura 3-5. En un primer momento se consideró la posibilidad de emplear la realidad virtual como plantilla para comenzar con el proyecto debido a la gran capacidad de inmersión que ofrece, además, también se consideró la posibilidad de emplear la primera persona, ya que aportaría una interacción excelente del operador con el simulador. Sin embargo, siendo uno de los objetivos del proyecto la instrucción y la formación del usuario, se ha decidido que, para conseguir este aprendizaje de la mejor forma posible, se debe emplear la plantilla de tercera persona (*third person*).

La principal razón en la selección de este tipo de plantilla fue que ofrece un sistema de control donde existe un personaje visible en el entorno creado y que con la cámara externa se ofrece una mayor percepción espacial del escenario. Este enfoque es el adecuado para este tipo de simulador, ya que permite una mayor visualización del entorno, que la navegación por el escenario sea más intuitiva y a su vez, que sea más flexible la posibilidad de integrar animaciones e interacciones, siendo observables desde la cámara del usuario al mismo tiempo.

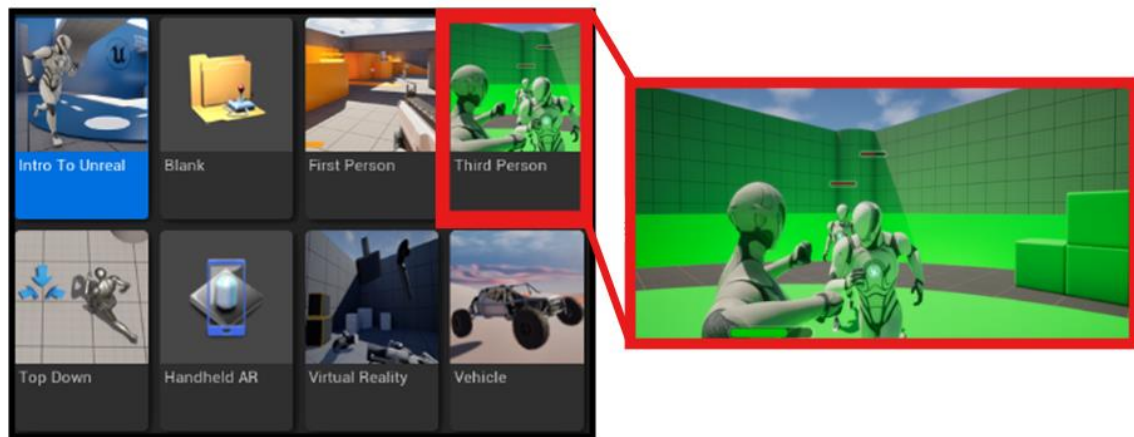


Figura 3-5 Plantillas iniciales de la categoría "Games" de Unreal Engine 5.7 (Autoría propia)

Cabe destacar que la selección de este tipo de plantilla proporciona una estructura de proyecto bien organizada para alcanzar los objetivos propuestos. Además, esta plantilla aporta las siguientes configuraciones [39]:

- **Versatilidad en estilos de juego:** La plantilla base permite usar variables óptimas para el combate, creación de plataformas o desplazamiento lateral, para no tener que programar sistemas desde cero.
- **Sistema de movimiento avanzado:** Permite que se puedan implementar acciones mecánicas complejas como salto en pared o sistema de carrera.
- **Configuraciones de cámara especializadas:** El motor proporciona sistemas de cámara fija y configuraciones de plano restringido que adaptan la perspectiva de tercera persona a formatos bidimensionales.

3.3.1.2 Configuración inicial del proyecto

En este subapartado se describe la configuración inicial del proyecto realizada desde el asistente de creación de proyectos de Unreal Engine, donde se han seleccionado qué parámetros básicos condicionan el funcionamiento, la calidad gráfica y el entorno de desarrollo del simulador.

Como vimos en Creación del proyecto, se ha seleccionado la plantilla de tercera persona, la cual proporciona un personaje jugable con cámara en tercera persona, así como un sistema de control básico

que permite mover al personaje y rotar la cámara empleando tanto el teclado como el ratón. A continuación, se ha elegido la opción de programación a través de Blueprints ya que permite implementar interacciones, comportamientos y lógicas de programación de manera visual, y no a través de programación directa en C++, que es la otra opción que el motor gráfico de Unreal Engine permite. Esta selección está representada por el color azul en la Figura 3-6.

En cuanto a la plataforma de destino, se ha configurado la opción *Desktop* ya que el simulador está pensado para ejecutarse en los ordenadores que dispongan los centros de formación y no para dispositivos móviles o tabletas. Además, debido a esta selección se pueden aprovechar mayores recursos de procesamiento y obtener unos mejores gráficos. Se representa con el color verde en la Figura 3-6.

Del mismo modo, respecto al preajuste de calidad, se ha seleccionado la opción *Maximum*, con el objetivo de obtener la máxima calidad visual posible. Para poder elegir esta opción se dispone de un equipo de desarrollo de potencia gráfica suficiente para poder soportar dicho nivel de calidad sin afectar al rendimiento del sistema. Este equipo se explica en el apartado 2.5.2 y se puede observar gráficamente en la Figura 2-23. Se representa con el color marrón en la Figura 3-6. En cuanto al apartado *Variante*, no se ha seleccionado ninguna opción, por lo que se han mantenido las configuraciones iniciales de la plantilla de tercera persona del motor gráfico. Mostrado en color amarillo en la Figura 3-6.

Para acabar, se le ha asignado un nombre al proyecto (*TFG_Lucas_Rodríguez*), representado con el color morado en la Figura 3-6, y se le ha asignado una carpeta de archivos en la que almacenar el contenido. Al darle a crear, Unreal Engine genera automáticamente la estructura completa del proyecto, incluyendo todos los aspectos necesarios para comenzar con el desarrollo del simulador.

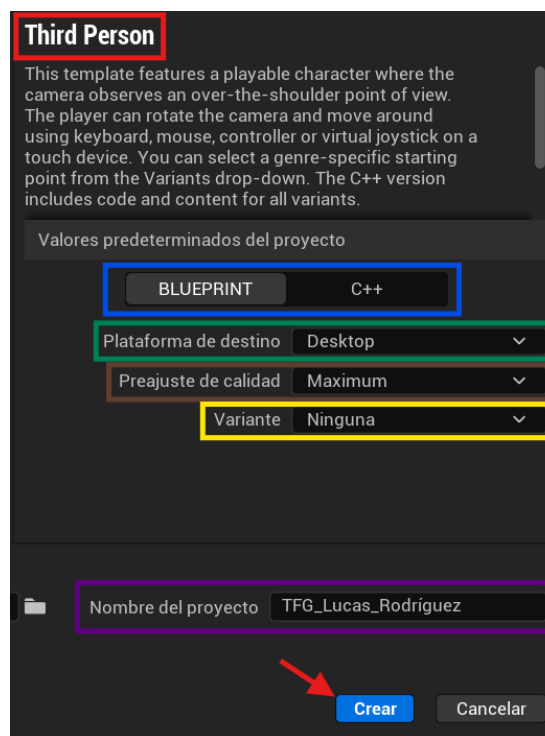


Figura 3-6 Configuración inicial del proyecto (Autoría propia)

3.3.1.3 Interfaz Unreal Engine 5.7

Cuando se crea el proyecto, este se inicia de forma automática en el *Level Editor* de Unreal Engine, que además consiste en el entorno de trabajo principal durante todo el proceso de desarrollo. La mayoría de las tareas relacionadas con la construcción del simulador se gestionan desde esta interfaz, ya que es la que permite el diseño y la organización de los niveles, permite configurar los actores que componen el escenario, modificar sus propiedades y ejecutar pruebas de la simulación en tiempo real, con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento del programa.

consumidor. Con esta última herramienta se ha conseguido establecer la interfaz inicial de la forma más eficiente para la realización del proyecto, como se observa en la Figura 3-7.

Para acabar con este primer elemento, del resto de posibles ventanas solo conviene destacar el empleo de Ayuda, con el objetivo de poder acceder a foros, documentación y otros recursos oficiales de Unreal Engine.

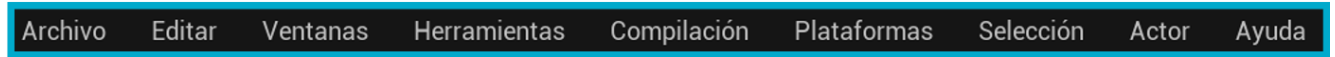


Figura 3-8 Barra de herramientas superior (Autoría propia)

Para continuar con las opciones rápidas propias del nivel actual, como se observa en la Figura 3-9, se muestran varias herramientas que nos aportan diferentes funciones al nivel, agilizando el flujo de trabajo y permitiendo la modificación directa del entorno sin tener que acceder a menús más complejos. Comenzando desde la izquierda de la Figura 3-9, se observa la opción de guardado, que permite que se pueda almacenar de forma rápida todos los cambios que se vayan realizando en el proyecto. También aparece la opción relacionada con el *Content Drawer* o *Buscador de Contenido*, en el que se pueden gestionar los archivos del proyecto. En tercer lugar, aparece la herramienta Modo Selección con la que el usuario puede interactuar con los distintos actores que tiene el escenario, moviéndolos, rotándolos o poniéndoles una escala determinada en función de las necesidades. Con este último elemento se constituye la parte básica que permite desarrollar la base del trabajo de edición y modulado del entorno tridimensional.

Seguidamente, se observa la herramienta de añadir nuevos elementos al nivel, la opción de abrir una interfaz para trabajar con la programación en *Blueprints* y otras configuraciones del nivel. Además, con los controles de ejecución y simulación de la derecha de la imagen, se permite la posibilidad de iniciar la partida, pausar la simulación o detenerla por completo, siendo elementos fundamentales para comprobar de manera progresiva el funcionamiento del escenario y el comportamiento de los actores antes de integrarlos como parte del proyecto final.



Figura 3-9 Opciones rápidas del nivel actual (Autoría propia)

Dentro de la ventana central de la interfaz inicial, se puede observar en la parte superior izquierda de la Figura 3-7, un conjunto de widgets que tienen el objetivo de aportar al usuario un conjunto de funcionalidades que permiten la configuración y transformación del nivel.

Con estos elementos se permite al usuario interactuar de forma directa con los actores del escenario, estableciendo con qué precisión se puede modificar la posición, orientación y escala de los elementos, así como variar la configuración de edición que se desea emplear en cada caso, también modificable con la tecla *Espacio* del teclado. Estos elementos se observan gráficamente en la Figura 3-10.



Figura 3-10 Widgets de edición (Autoría propia)

El explorador de contenido es uno de los elementos más importantes y de mayor utilidad del motor, ya que gestiona todos los activos con los que se forma el proyecto. Mostrado en la Figura 3-11, se puede observar como desde este buscador, el usuario puede crear, importar y visualizar, entre otras herramientas, los distintos elementos que se incluyen en el editor, como materiales, texturas, mallas estáticas o Blueprints.

Como cualquier explorador de archivos, en la parte superior se dispone de un buscador para localizar de manera rápida y sencilla cualquier archivo o elemento contenido en el proyecto. Además, en la Figura 3-11, se observa la distribución y organización del contenido en carpetas, lo que ofrece una estructura clara y ordenada del proyecto. Para acceder a esta ventana, se puede hacer desde el acceso de la barra inferior o utilizando el atajo del teclado “CTRL + Barra Espaciadora”.

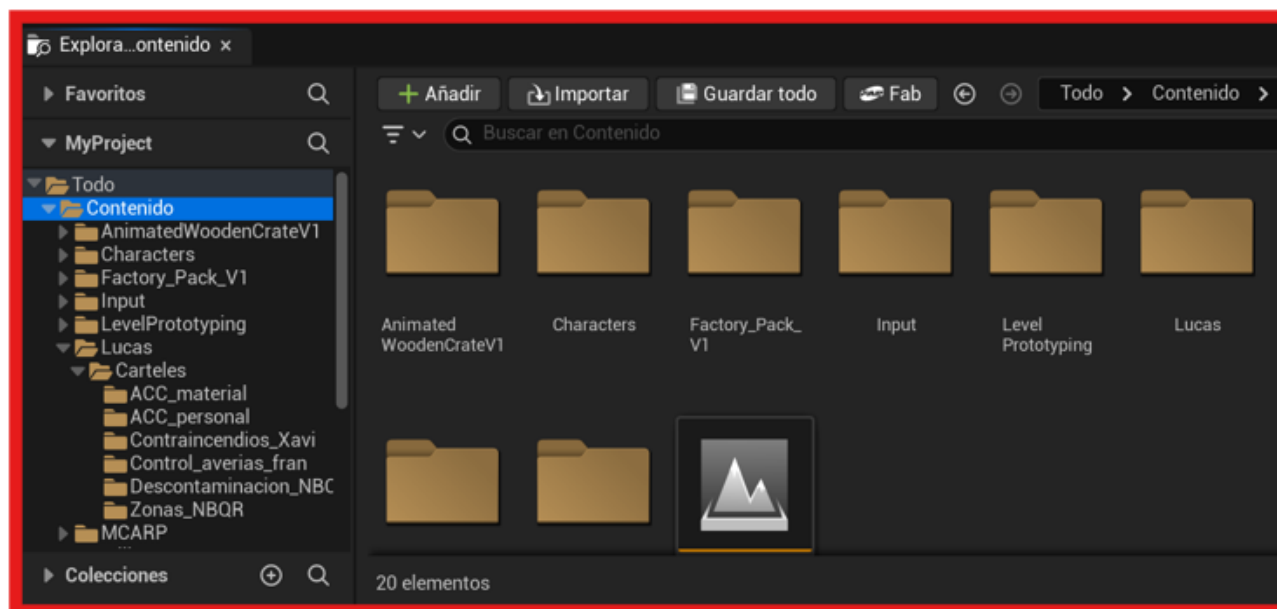


Figura 3-11 Explorador de contenido (Autoría propia)

La segunda ventana en orden de importancia es el Esquemizador de la Figura 3-12, el cual se complementa con el explorador de contenidos, organizando jerárquicamente y de forma más avanzada los elementos que componen el nivel activo. Tal y como se puede observar en la Figura 3-12, en este panel se muestran todos los actores que se encuentran presentes en el escenario, estructurados en carpetas y facilitando la gestión de proyectos que tienen un gran número de elementos. Asimismo, el Esquemizador permite localizar un actor en específico de forma rápida, como, por ejemplo, los elementos que se encargan de la iluminación global del escenario, facilitando su acceso y, además, que se puedan ejecutar fácilmente.

Antes de continuar con la explicación del resto de los elementos de la interfaz de trabajo, es necesario explicar los efectos visuales de los que dispone Unreal Engine 5.7, ya que consiguen aportar un elevado realismo y calidad visual al escenario virtual de Seguridad Interior. Se han empleado varios componentes para la configuración visual del escenario, que a continuación se detallan. Además, dos de ellos se pueden observar en la Figura 3-12, contenidos dentro del esquematizador, la luz del cielo y la atmósfera del cielo.

- **Luz del cielo:** Representa la iluminación global del entorno, reflejándola sobre los distintos elementos que forman el escenario (nombrado por *SkyLight*).
- **Atmósfera del cielo:** Es el componente encargado de representar el cielo y simular la propagación de la luz a través de la atmósfera, aportando un tono realista al escenario (nombrado por *SkyAtmosphere*).
- **Luz direccional:** Se emplea para representar una fuente de luz a una distancia muy lejana, reproduciendo de forma realista la iluminación solar.
- **Niebla de altura exponencial:** Se trata de un efecto atmosférico que se va haciendo menos denso con el aumento de la altura.
- **Nubes volumétricas:** Con este elemento, se generan formaciones nubosas tridimensionales de forma realista, aportando una inmersión total de la realidad.

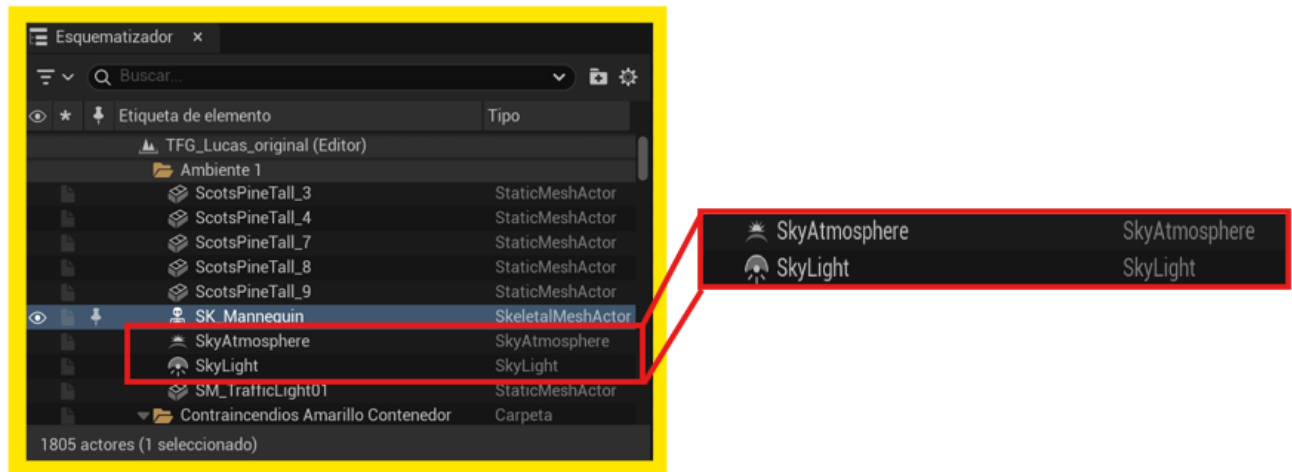


Figura 3-12 Esquemizador y efectos visuales (Autoría propia)

Seguidamente, se muestra en la Figura 3-13 el gestor de detalles, con el que se puede editar y modificar de forma precisa las propiedades de cualquier elemento que se seleccione en el escenario, siendo una herramienta esencial para ajustar con detalle los diferentes actores que forman el nivel. El principal uso de esta ventana consiste en la modificación de los parámetros de transformación de un elemento determinado, con el que se puede modificar su rotación, posición y escala.

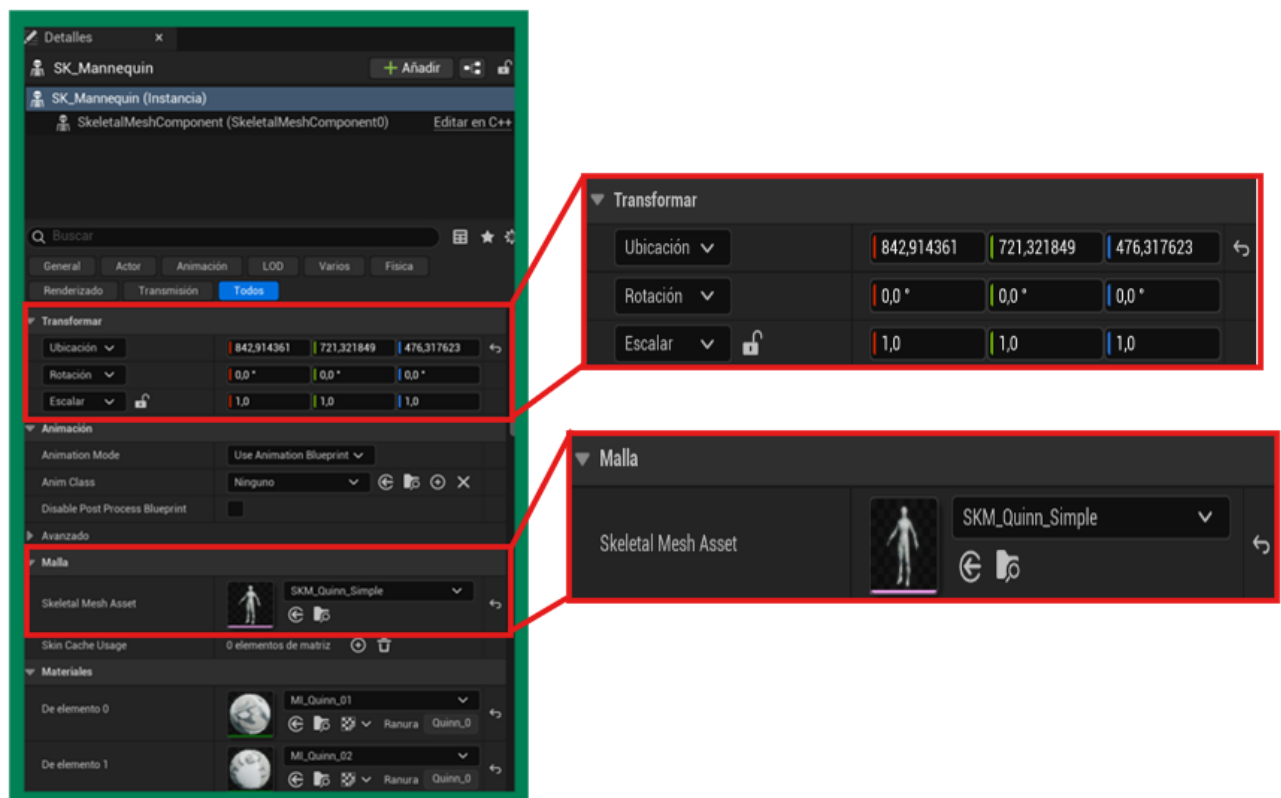


Figura 3-13 Ventana Detalles de Unreal Engine 5 (Autoría propia)

Por último, se ha empleado una ventana extra que no suele formar parte de la interfaz de usuario cuando se inicia el programa. Esta herramienta, observada en la Figura 3-14, permite colocar una gran variedad de actores con distintas utilidades como figuras geométricas básicas, permite añadir luces al escenario y otros actores que pueden interactuar con el usuario durante la ejecución del programa.

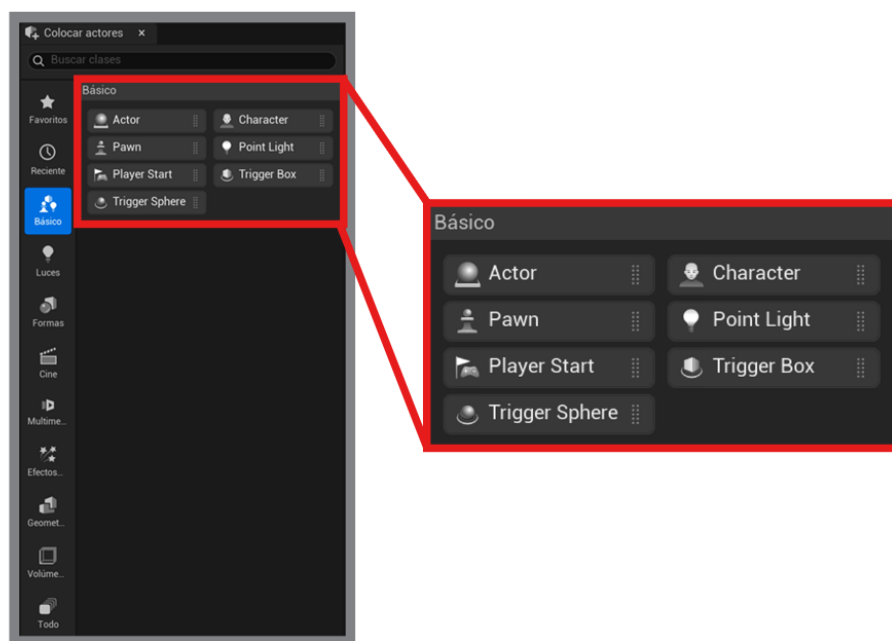


Figura 3-14 Ventana colocación de actores (Autoría propia)

En conjunto, las herramientas descritas permiten gestionar, modificar e incorporar de forma eficiente los distintos elementos del escenario virtual, facilitando tanto su diseño como su configuración y contribuyendo al desarrollo de un entorno interactivo completo.

3.3.2 Adquisición de bibliotecas de actores

Para el desarrollo del escenario virtual ha sido necesario incorporar distintos elementos tridimensionales que permitan representar de forma realista los objetos presentes en los distintos entornos del simulador. Estos elementos se han obtenido mediante bibliotecas de actores disponibles en Fab, como se ha realizado con el diseño y modelado del personaje del apartado 3.3.3.2.

Seguidamente, siguiendo lo desarrollado en el apartado 2.5.1.3, Fab proporciona una gran variedad de recursos que incluyen modelos 3D, materiales, texturas, efectos visuales y otros elementos para su utilización dentro del motor gráfico. Además, las bibliotecas que han sido empleadas en el presente proyecto proceden tanto de recursos gratuitos como de contenidos de pago, seleccionados en función de los objetivos que se han querido alcanzar en cada uno de los espacios del escenario.

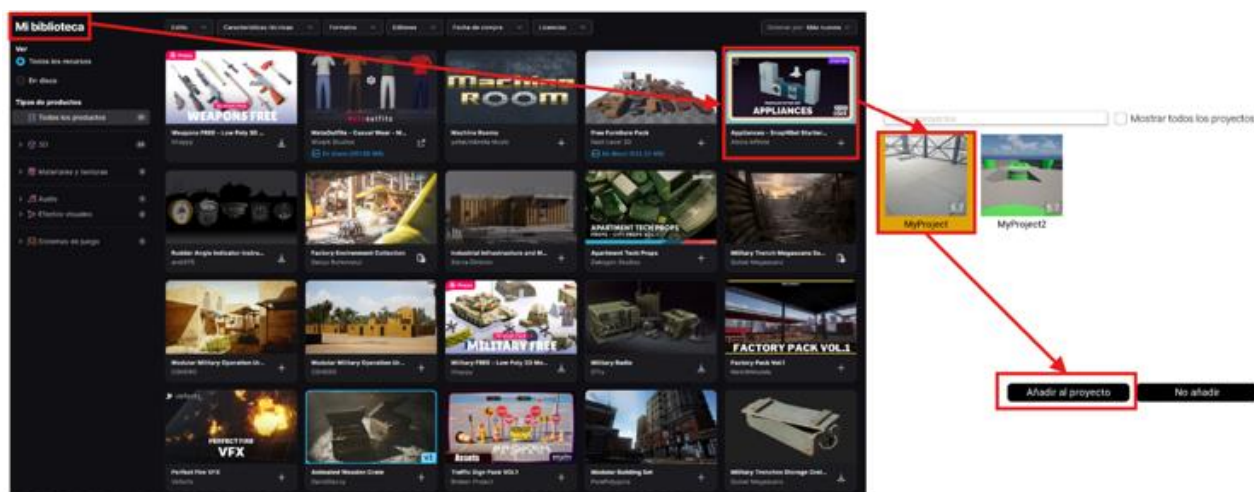


Figura 3-15 Pasos para añadir bibliotecas de actores (Autoría propia)

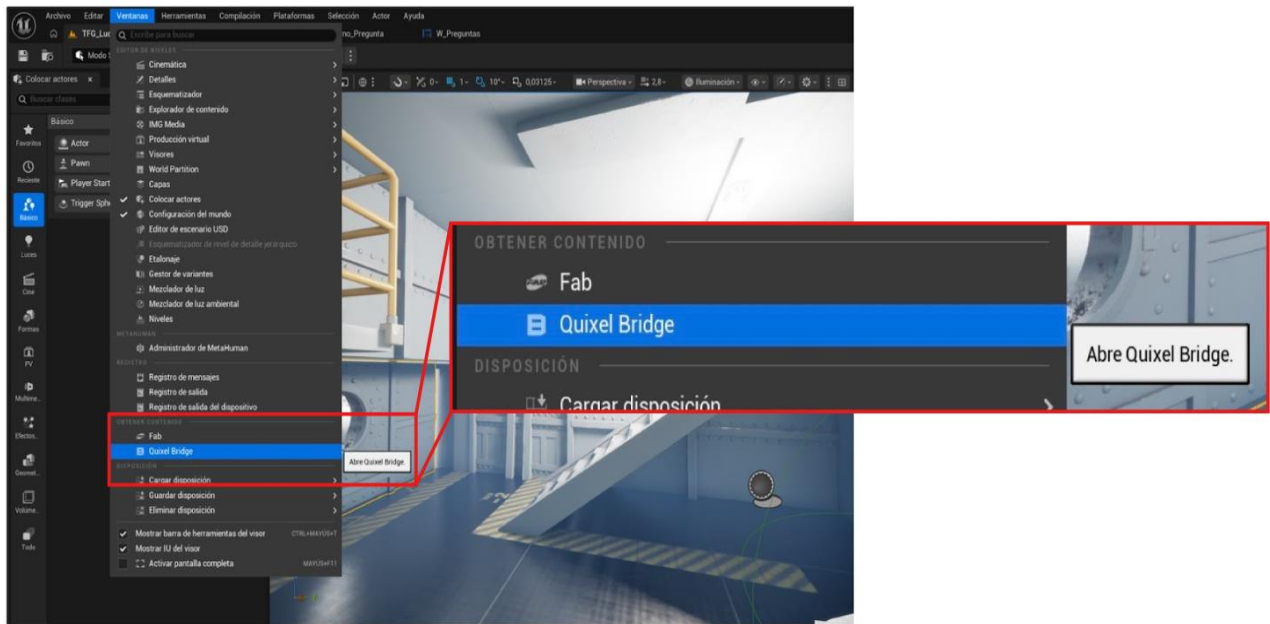


Figura 3-17 Acceso a Quixel Bridge desde UE5 (Autoría propia)

En este panel principal de Bridge se permite acceder a varias bibliotecas digitales como *Megascans* o *Metahumans*, lo que permite incorporar distinto contenido sin necesidad de tener que realizar exportaciones e importaciones continuas.

Además, como se observa en la Figura 3-18, desde esta sección se puede acceder a una biblioteca de personajes preconfigurados con distintas características, en función de los rangos de edad, de las etnias y de los rasgos faciales. Para el presente proyecto se ha seleccionado a “Myles” y a “Cooper” como base, sobre los que se equipará posteriormente con el equipo de protección individual correspondiente en función del escenario, así como su ERA (Equipo de Respiración Autónoma).

Una vez elegido el personaje que se va a emplear, se debe pulsar la opción *Download* dentro de Bridge, para que el sistema pueda descargar todos los elementos asociados a este *asset* [40]:

- Mallas (Skeletal Meshes)
- Texturas en alta resolución
- Materiales
- Controladores faciales
- Rig corporal
- Animaciones base

Cabe destacar que dentro de esta herramienta se permite el modelado facial y corporal del personaje, dentro del mismo Epic Games, editándose dentro de la página de Internet, para luego poder ser exportado directamente al proyecto correspondiente. Esto se realizaría con la opción *Start MHC* que se observa en la Figura 3-18.

Dado que el objetivo principal de la selección del personaje es que sirva como modelo sobre el cual disponer y simular el traje específico empleado en los buques de la Armada, el diseño de las estructuras faciales y corporales no ha sido especialmente necesario.

El uso de bibliotecas digitales como Bridge permite agilizar significativamente el proceso de creación del escenario, facilitando la incorporación de recursos de alta calidad de forma directa en el motor gráfico. De este modo, el uso de estas bibliotecas digitales permite optimizar el proceso de creación de personajes, facilitando la integración de modelos realistas dentro del escenario virtual y mejorando el nivel de detalle del entorno desarrollado, siempre manteniéndose dentro de las posibilidades que *Epic Games Store* ofrece.

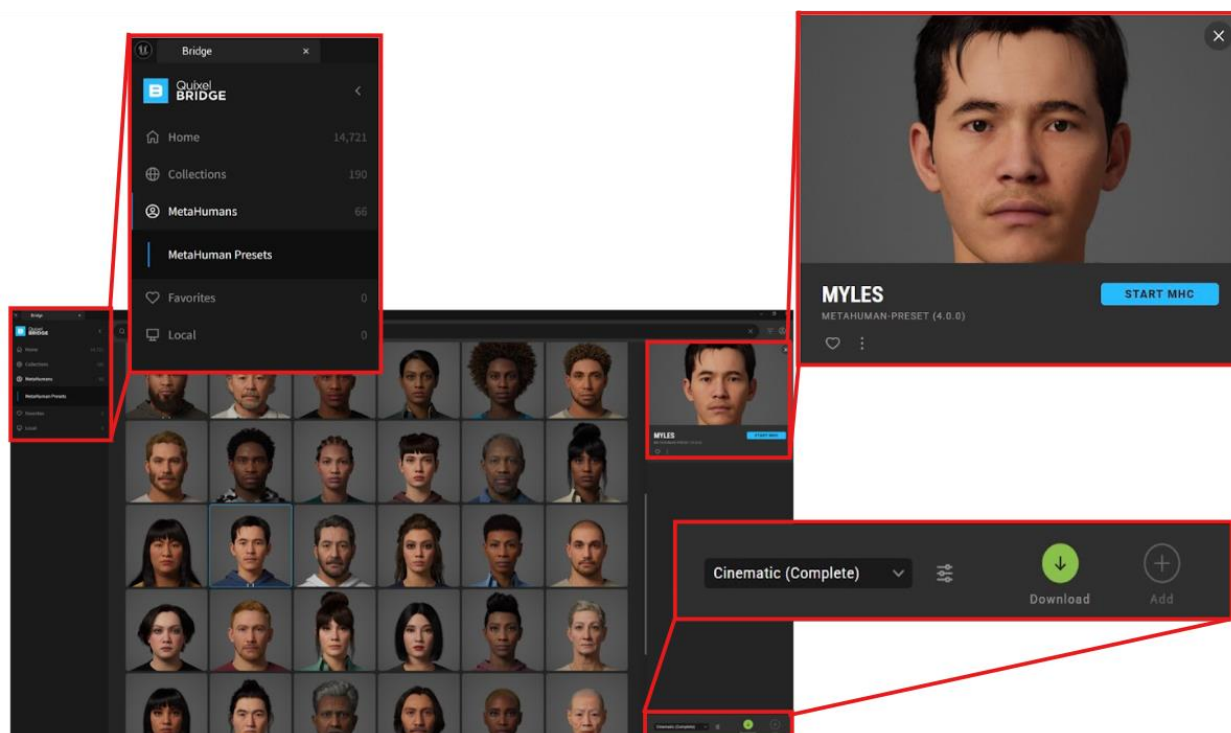


Figura 3-18 Biblioteca de MetaHuman en Quixel Bridge (Autoría propia)

Tras esta descarga, se activa el botón *Add*, con lo que se permite que se pueda enviar directamente esta descarga al proyecto en el que se está trabajando. Con esta acción, Unreal Engine genera una carpeta dentro del explorador de contenidos (Figura 3-11), generándose una serie de subdirectorios organizados por *Body*, *Face*, *Materials*, *Blueprints* y *Common* (elementos compartidos entre los diferentes personajes descargables), tal y como se muestra en la Figura 3-19.

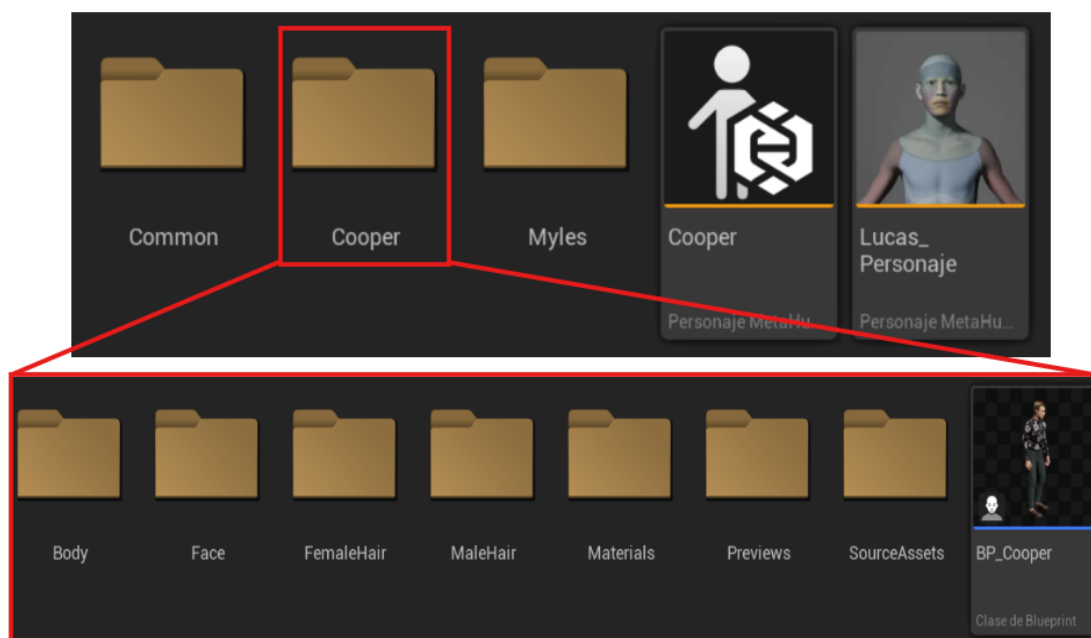


Figura 3-19 Organización en carpetas de MetaHuman (Autoría propia)

Dentro de esta organización por carpetas, la más relevante es la que almacena los *Blueprints* del personaje ya que incluye los movimientos y animaciones básicas de este, los controles faciales, la configuración de su esqueleto y, además, la lógica básica que emplea el sistema para permitir el movimiento de este.

3.3.3.2 Diseño y modelado del personaje

Una vez se ha generado e importado el personaje al motor gráfico mediante MetaHuman, se ha realizado la modelación conforme a la doctrina de Seguridad Interior pertinente, incluyendo un EPI (Equipo de Protección Individual) contraincendios y un ERA (Equipo de Respiración Autónoma) para poder intervenir en atmósferas contaminadas bien sea por humo u otros agentes.

Para ello, se han adquirido bibliotecas de modelos 3D que son compatibles con MetaHuman a través de la plataforma Fab (explicada en el apartado 2.5.1.3), tal y como se puede observar en la Figura 3-20. Este conjunto de *assets* incluye trajes estructurales de bombero (chaqueta y cubrepantalón), cascos con máscara, botas ignífugas y, además, el equipo ERA completo (botella, arnés, espaldera y máscara facial).

Fijándose detalladamente en la Figura 3-20, y a diferencia de otros recursos gratuitos obtenidos en otras partes del proyecto, estas bibliotecas han sido compradas bajo licencia garantizando una mayor calidad de los actores a emplear, así como una perfecta compatibilidad técnica con Unreal Engine 5.

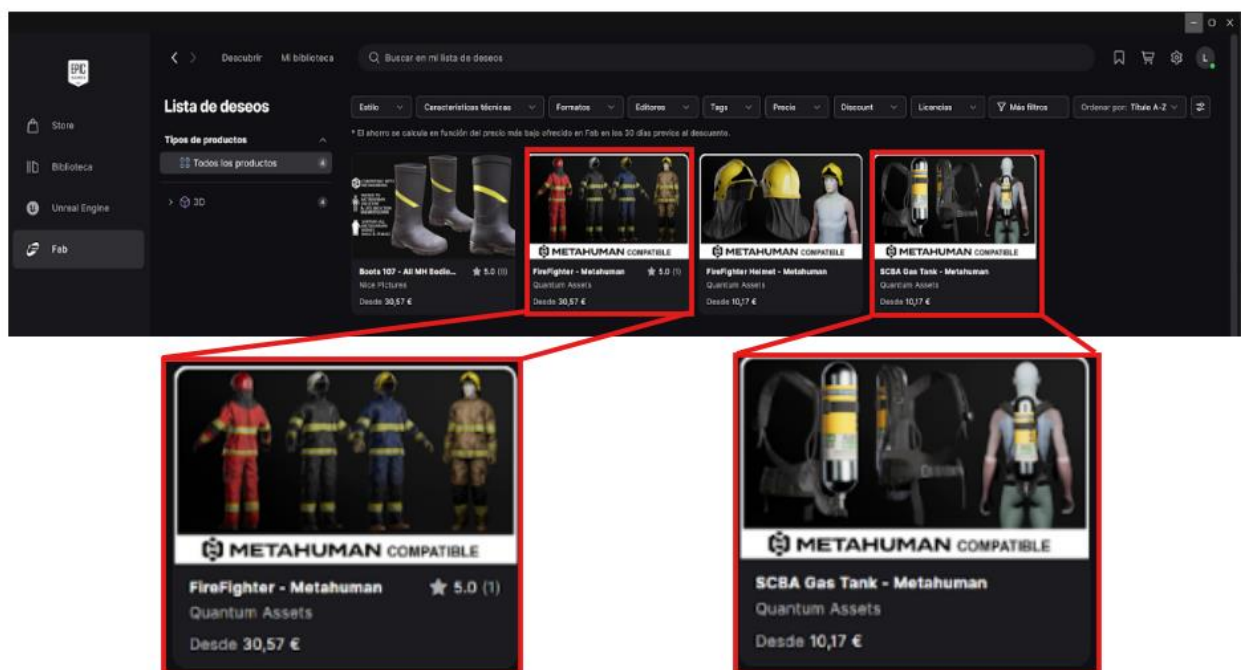


Figura 3-20 Biblioteca de assets adquiridos de Fab (Autoría propia)

Seguidamente, los *assets* comprados de ropa contraincendios de la Figura 3-20, se han añadido mediante la incorporación de mallas esqueléticas (*skeletal meshes*) de ropa sobre el personaje de *MetaHuman*. Estos elementos incluyen el traje de bombero, el casco y los guantes para este tipo de incidencias.

La integración se ha realizado directamente mediante el *MetaHuman Character*, asociando las mallas esqueléticas al esqueleto del personaje para que puedan heredar correctamente las animaciones y movimientos del mismo, como se muestra en la

Cuando se han incorporado todos los elementos de la vestimenta, se ha generado el *Rig* del personaje, con lo que se permite que todas las partes del modelo se queden vinculadas al esqueleto de forma correcta. Tras este último paso, el personaje completo se debe exportar como un *Blueprint* de personaje, nombrado *BP_Lucas_Personaje* en el presente proyecto, que será el encargado de gestionar la lógica del comportamiento del personaje, mostrado en la Figura 3-22.

A partir de este *Blueprint* se incorporan posteriormente los distintos árboles de lógica de programación, que permiten controlar el movimiento, la interacción con el entorno y los diferentes sistemas que se han implementado en el escenario, como se desarrolla en el apartado 3.4.5.

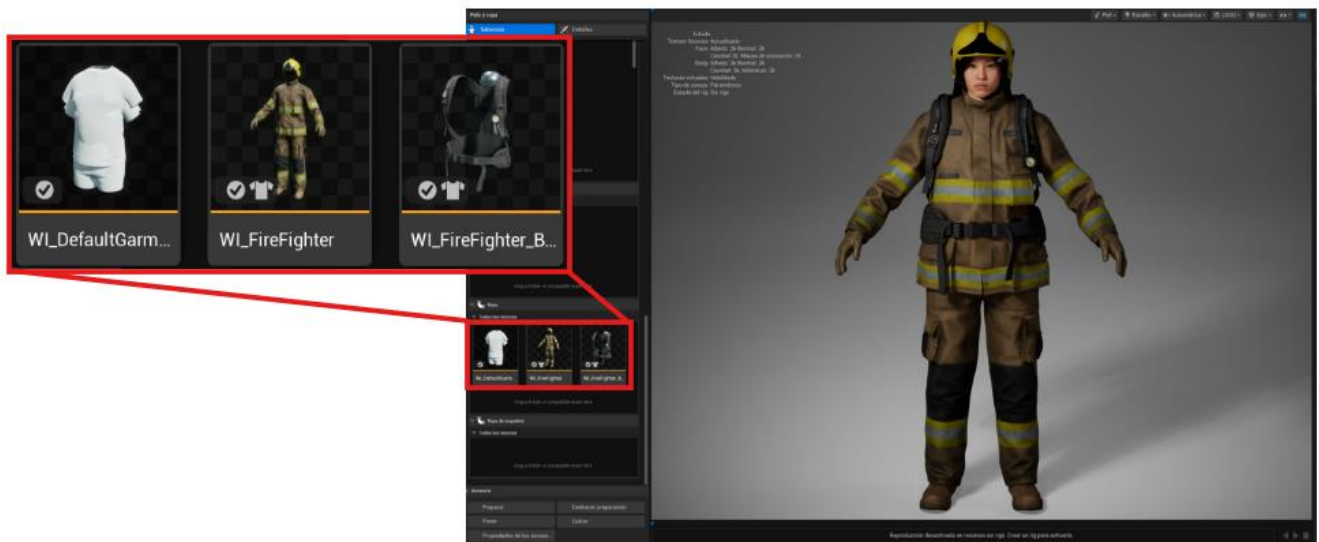


Figura 3-21 Integración del traje al MetaHuman Character (Autoría propia)

En cuanto a la integración del equipo de respiración autónoma (ERA), se ha implementado a través de un sistema que permite equiparlo durante la ejecución de la simulación, a través de la lógica del apartado 3.4.5.1, donde se emplea un *ActionMapping* para asociar el ERA a la tecla B del teclado, y su botón correspondiente del mando.



Figura 3-22 BP_Lucas_Personaje (Autoría propia)

Además, con esta lógica se consigue que el ERA quede colocado correctamente en la espalda del personaje y se mueva de manera coherente con la animación preestablecida en el personaje. El actor correspondiente a este equipo de respiración se ha desarrollado como un *Blueprint* independiente, lo que ayuda a que se pueda reutilizar e integrar fácilmente dentro del simulador.

3.3.3.3 Otros modelados del personaje

Además del modelo principal utilizado durante la mayor parte del escenario, se han incorporado variantes del personaje con diferentes equipamientos con el objetivo de adaptar su apariencia a las distintas situaciones de entrenamiento representadas en el simulador.

En particular, para el área de defensa NRBQ (Nuclear, Radiológica, Biológica y Química) se ha implementado un modelo específico que incorpora un traje de protección NRBQ completo, compuesto por mono estanco, máscara de protección y guantes, tal y como se muestra en la Figura 3-23. Este

equipamiento trata de simular el utilizado en las unidades de la Armada cuando existen entornos contaminados y permite representar de forma más realista las condiciones de trabajo del personal en este tipo de incidentes.

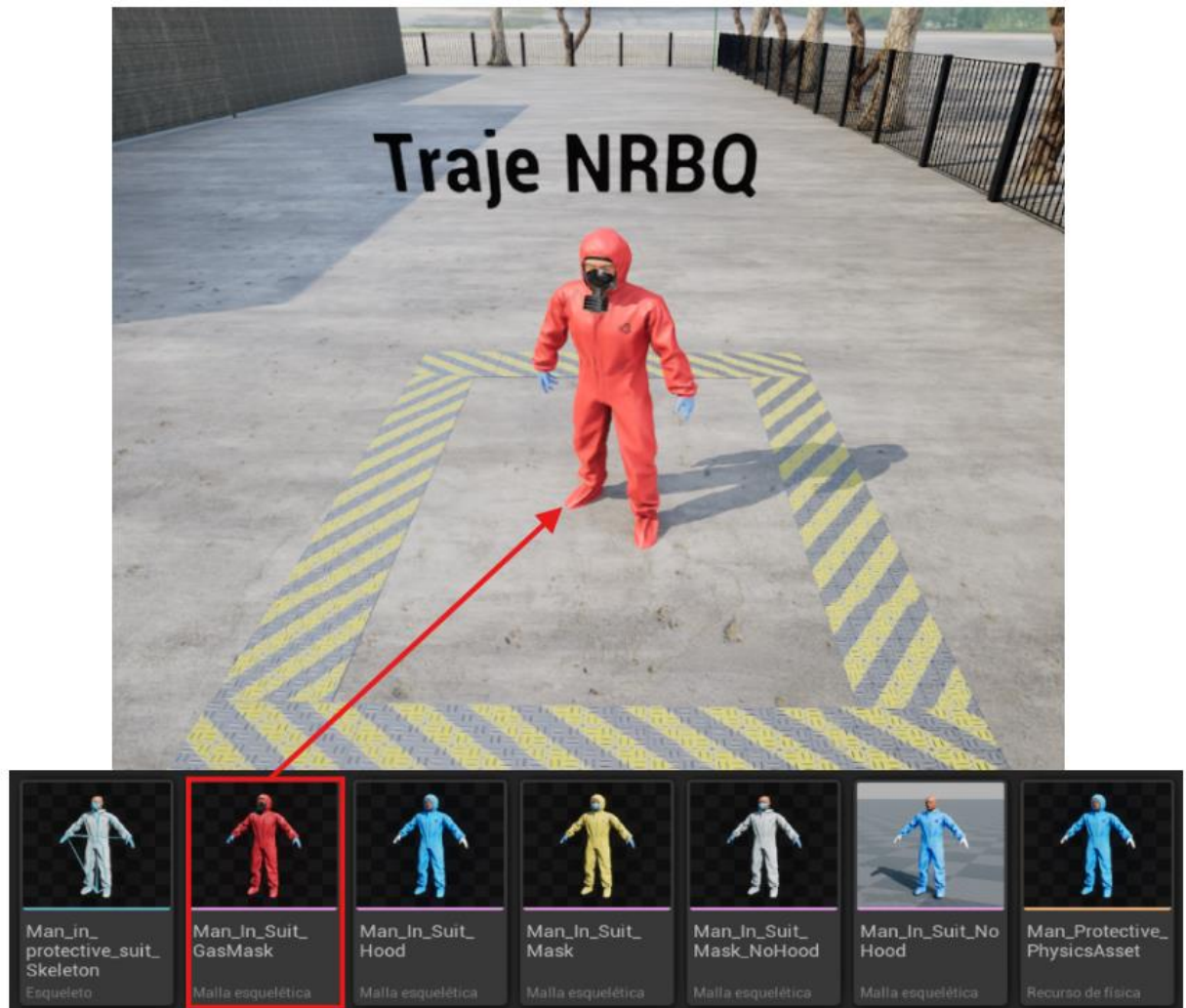


Figura 3-23 Traje NRBQ (Autoría propia)

Cuando el usuario accede al edificio correspondiente al área NRBQ, el sistema sustituye automáticamente el modelo del traje contraincendios del personaje por el modelo equipado con el traje de protección, como se desarrolla en el apartado 3.4.5.3.

3.3.4 Diseño básico del entorno

En este apartado se va a detallar cómo se ha realizado el diseño base del escenario virtual que se desarrolla en el proyecto. Se empieza mostrando cómo se ha llevado a cabo la elección de los elementos que forman el material del terreno, continuando con los detalles y los actores que lo forman, y finalmente, se muestra de forma general la distribución global del entorno.

3.3.4.1 Material y diseño del terreno

Antes de comenzar con el diseño y modelado del entorno virtual, el cual es una representación de un centro de formación con varias edificaciones, zonas de instrucción y adiestramiento y otros elementos ambientales, es imprescindible definir de manera global cuál es el material y el diseño que caracterizarán el terreno que forma la superficie de todo el entorno. Este aspecto es de vital importancia para el proyecto, ya que influye en el realismo visual que ofrece el entorno, así como en el comportamiento físico dentro del motor gráfico de Unreal Engine.

Para seleccionar los materiales que forman el terreno se han empleado bibliotecas disponibles a través de Fab (apartado 2.5.1.3). Como se muestra en la Figura 3-24, se ha adquirido el material *M_Concrete* (que se corresponde con hormigón) para la base del terreno, así como un material para poder diseñar y modelar gráficamente las líneas que forman las carreteras que se representan sobre el terreno. Además, se ha representado una superficie rectangular que será la base sobre la que se representan los distintos edificios que forman el escenario virtual y en los cuales tendrán lugar las incidencias de Seguridad Interior. Más adelante se desarrollan con detalle la construcción y el diseño de todas las estructuras que dan forma al entorno.

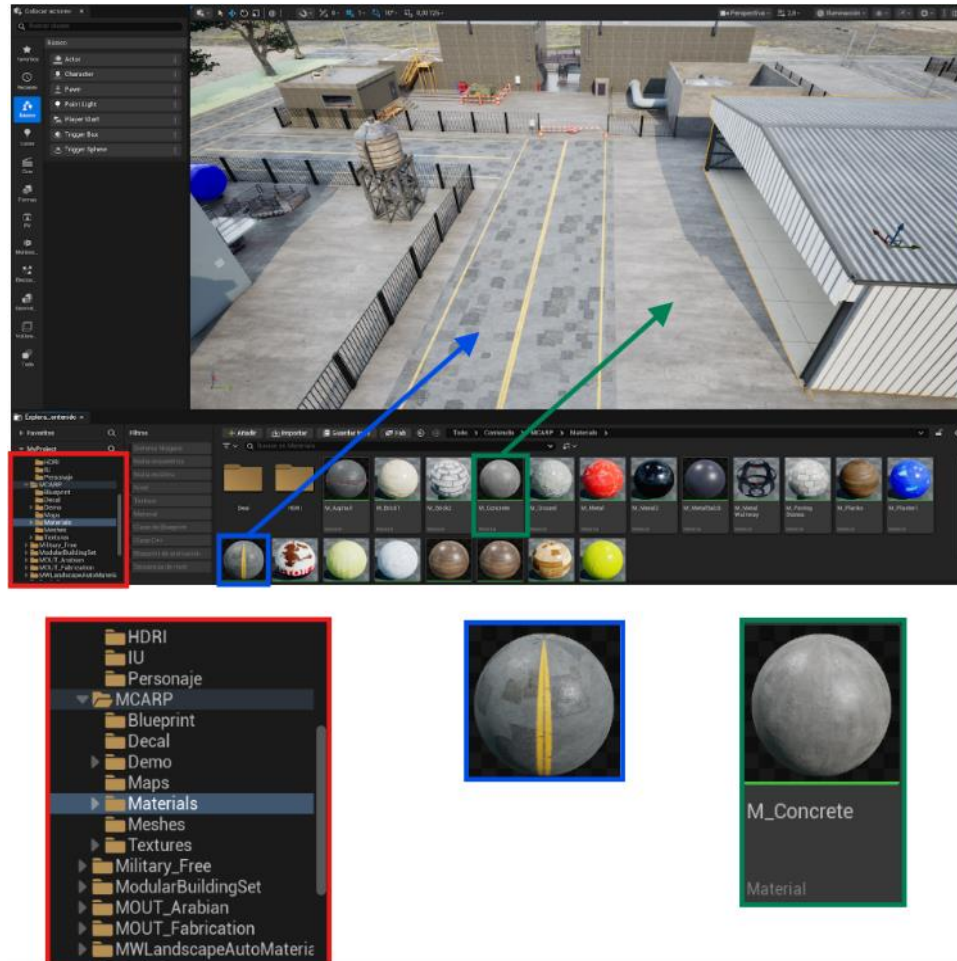


Figura 3-24 Materiales empleados en el terreno (Autoría propia)

Aunque los materiales empleados parecen sencillos a primera vista, incorporan una estructura de programación en Blueprints muy elaborada. Esto aporta a los materiales de bibliotecas como Fab y otras carpetas descargables, como el *Starter Content*, una gran utilidad para su empleo en estos proyectos de modelado 3D. En los Blueprints del material se pueden observar los distintos parámetros que forman el material, así como una vista previa del resultado final que tendrá el material.

3.3.4.2 HDRI Backdrop

El *HDRI Backdrop* emplea una imagen HDR panorámica, como una especie de *cubemap*, proyectándola alrededor de la escena, sirviendo como fondo visual y aportando una luz ambiente realista y reflejos dinámicos. Además, las imágenes HDR (High Dynamic Range) son aquellas que contienen rangos de luz que son mucho más amplios que una imagen normal. Este concepto aporta una iluminación mucho más realista en entornos 3D como el que se desarrolla en el proyecto.

Este actor que aporta Unreal Engine está formado por unos componentes principales que se desarrollan a continuación [41]:

- **Cubemap HDRI:** Consiste en la imagen HDR que se proyecta alrededor de la escena.
- **Sky Light Dinámico:** Este tipo de actor añade un Sky Light que emplea la imagen HDR para generar iluminación ambiental realista.
- **Geometría de fondo:** Emplea un plano de fondo donde se proyecta la imagen HDR.
- **Suelo de sombras:** Se trata de un falso plano que captura las sombras y ayuda a que los objetos parezcan integrados con el fondo HDR.

A través de este fondo se consigue simular que el escenario recreado está sobre un lugar realista, como se puede observar en la Figura 3-25. Este actor sitúa el escenario en una explanada de suelo de piedra y hormigón, donde aparecen árboles y plantas en los extremos, así como otras edificaciones abandonadas.



Figura 3-25 *HDRI Backdrop* (Autoría propia)

3.3.4.3 Iluminación global dinámica con Lumen

Con el objetivo de conseguir un mayor realismo en el entorno virtual, se ha empleado un sistema de iluminación global dinámica integrada dentro del mismo motor gráfico de Unreal Engine 5, que se denomina Lumen. Esta tecnología permite que se calcule en tiempo real la interacción que tiene la luz con las superficies del escenario, con la que se permite simular rebotes indirectos en las superficies, la difusión real de la luz y las variaciones de intensidad sin necesidad de emplear *lightmaps* (mapas de luz) [42].

Gracias al empleo de este tipo de iluminación, en el entorno se producen cambios continuos de forma dinámica ante la aparición de fuegos, con la apertura de las puertas o activándose los focos de emergencia, ya que el Lumen realiza una evaluación permanente de cómo se debe propagar la luz dentro del escenario y, por tanto, adapta la luminosidad al entorno en concreto.

Especialmente, esto se puede observar en espacios cerrados donde las llamas y el humo provocan una gran pérdida de visibilidad, la cual se representa de forma fidedigna en la simulación.

Como se observa en la Figura 3-26, para poder configurar el Lumen como el método de iluminación global dinámica del escenario se debe acceder desde la ventana de configuración del proyecto, y modificar el apartado de *Iluminación Global* que se encuentra dentro de *Motor – Rendering*. Para facilitar la búsqueda, se puede buscar la palabra Lumen en el buscador superior. En conjunto, la implementación de Lumen como sistema de iluminación global dinámica permite mejorar significativamente el realismo del entorno virtual

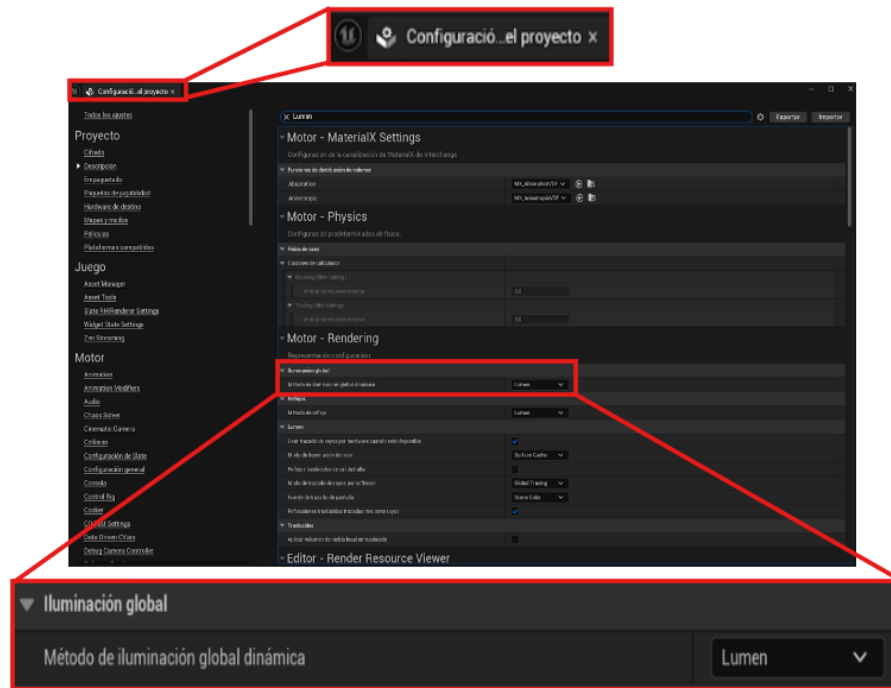


Figura 3-26 Proceso para la configuración del Lumen (Autoría propia)

Finalmente, la implementación del sistema de iluminación global dinámica mediante Lumen permite mejorar significativamente el realismo visual del entorno, al simular de forma precisa la interacción de la luz con las superficies del escenario en tiempo real.

3.3.4.4 Elementos complementarios del entorno

Primeramente, para tratar de incrementar el realismo visual y la credibilidad del escenario, se han añadido varios detalles complementarios al entorno. Entre ellos, se han representado zonas exteriores que representan jardines compuestos por árboles y vegetación sobre superficies de césped, con lo que se trata de aportar al escenario una apariencia más natural y próxima a un entorno real.

Como se detalla en el apartado 3.3.4.1, para el diseño básico del entorno se ha llevado a cabo la creación de infraestructuras viarias, representando carreteras y el vallado de cada uno de los edificios que forman el escenario, con el objetivo de delimitar correctamente los espacios en los que se divide el entorno virtual. Como complemento, se han añadido varios elementos de señalización vial y semáforos, para aportar una percepción más realista y aportar un mínimo de contexto al entorno.

Todos estos elementos empleados como complementos a la hora del diseño del escenario han sido adquiridos de las bibliotecas de recursos a través de la plataforma Fab (apartado 2.5.1.3), con lo que se ha podido disponer de *assets* optimizados y de alta calidad, proporcionando gran coherencia en la estética del entorno.

3.3.5 Diseño y construcción de edificios

Para llevar a cabo el diseño y la construcción de los edificios que conforman el escenario se han empleado varios criterios generales para tratar de que exista una coherencia visual y una fácil interacción del usuario con el entorno. Todos estos criterios se han aplicado a la mayoría de los edificios, con el objetivo de respetar la homogeneidad del escenario, pese a existir algunos otros edificios que varían su estética por las exigencias del simulador.

En este apartado se describen los principios básicos del diseño que se han empleado durante el desarrollo del proyecto, como la configuración de las colisiones y la interacción con elementos móviles como la apertura de puertas. Asimismo, se presenta de manera detallada cada uno de los edificios que forman el escenario, junto con todos los elementos estáticos y físicos que lo forman.

3.3.5.1 Aspectos generales en el modelado y la configuración de edificios

La totalidad de los edificios en el escenario se han modelado y configurado a través de unas bases comunes, con el objetivo de alcanzar un comportamiento coherente y la correcta integración en el entorno virtual de las construcciones. Entre los aspectos considerados se encuentra el empleo de mallas estáticas como elemento de construcción, la definición correcta de las colisiones de estas mallas y la configuración de elementos interactivos, como puertas, escaleras y otros elementos estructurales.

3.3.5.1.1 Configuración de las colisiones

Para conseguir una interacción correcta entre los distintos actores que forman el escenario, ha sido necesario definir las colisiones de cada una de las mallas estáticas que se han empleado para el diseño del entorno. A su vez, configurar de manera incorrecta estas colisiones genera errores en el comportamiento del personaje durante la simulación, como atravesar superficies, la imposibilidad de desplazarse por lugares donde visualmente no existe ningún obstáculo, y en general, interacciones poco realistas con el entorno.

En Unreal Engine, para configurar las colisiones, hay que gestionarlo a nivel de *Static Mesh* (Malla estática), con lo que se puede definir las envolventes de colisión independientes de la geometría visual que presenta el actor en el nivel. En el presente proyecto, se ha optado por el uso de colisiones simplificadas, que se han ido ajustando a través de envolventes de elementos geométricos básicos como cubos, rectángulos o esferas, para tratar de mantener un equilibrio entre la interacción correcta de los actores y la eficiencia computacional que genera el trabajo.

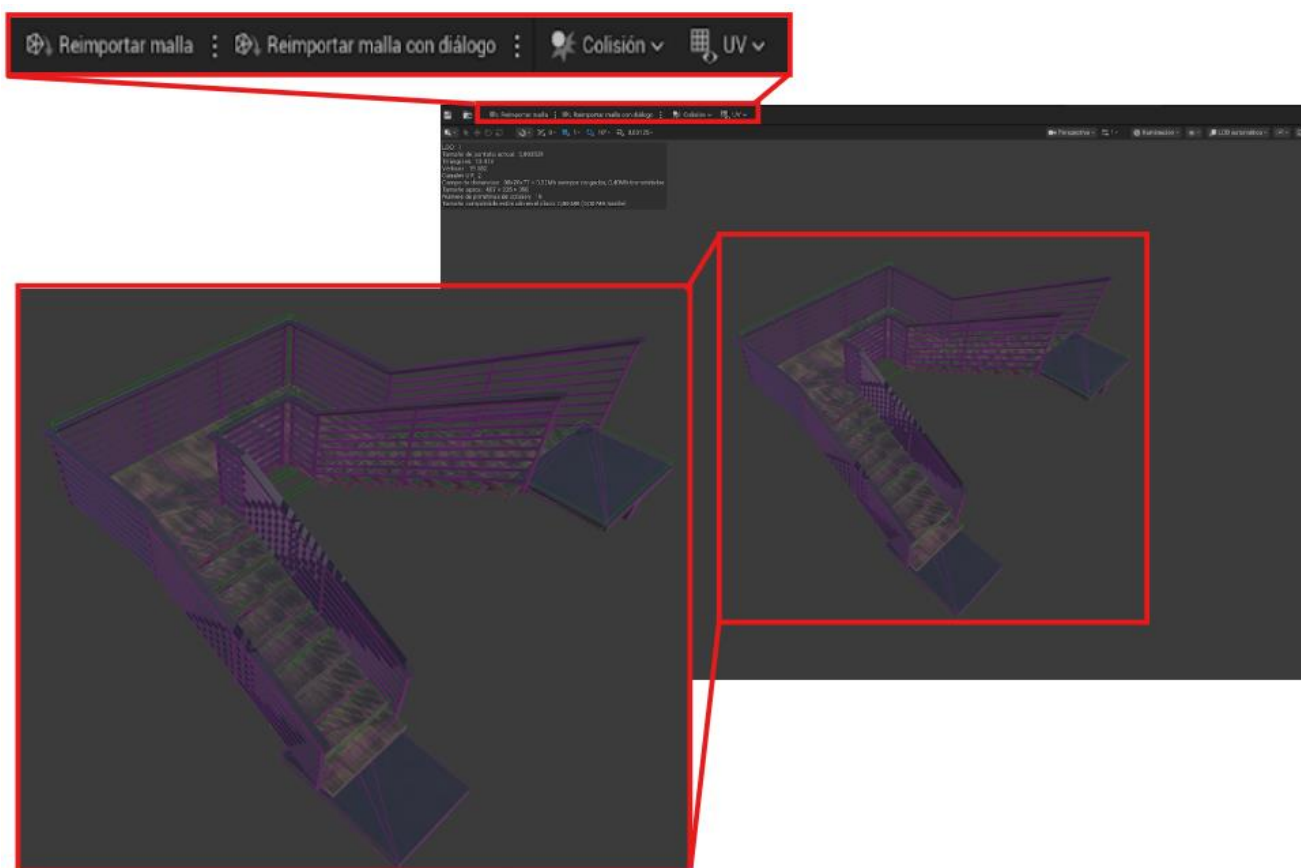


Figura 3-27 Ajuste colisión de una escalera (Autoría propia)

Como se observa en la Figura 3-27, en los casos en los que las mallas importadas desde bibliotecas no disponían de las colisiones adecuadas con su geometría visual, como es el caso de la escalera, se ha realizado a la generación manual desde el editor del motor gráfico, a través de elementos de colisión simples, como se explica previamente. De esta forma, se consigue que los actores del escenario, como

el personaje que se controla durante la simulación, respondan de forma correcta al contacto físico con el entorno.

3.3.5.1.2 Configuración e interacción de las puertas

Todas las puertas definidas en el nivel se han introducido en el escenario como elementos interactivos, lo que permite el acceso a los edificios y las distintas zonas del entorno. Para llevar esto a cabo, las mallas correspondientes a las puertas han sido importadas desde bibliotecas Fab y configuradas en el propio motor gráfico, asegurando la correcta representación visual y un correcto comportamiento durante la simulación del nivel.

Tal y como se observa en la Figura 3-28, la puerta se adapta visualmente al entorno como parte del edificio, aportando realismo y aportando al escenario un punto de vista naval. Además de la malla estática, se ha definido una colisión adecuada para el elemento, evitando que el personaje pueda atravesar la puerta cuando se encuentre cerrada durante la simulación.

La lógica de la apertura y el cierre de las puertas se ha implementado mediante Blueprints, como se muestra en la Figura 3-28, donde se representa el grafo de programación que produce este comportamiento. A través de esta lógica (explicada detalladamente a partir del apartado 3.4), la puerta responde a la interacción del personaje cuando este se aproxima a la puerta, ya que se activa mediante un evento de colisión, empleando un *Trigger Box* (caja de activación) en las proximidades de esta. Con este sistema, se consigue una interacción fluida y realista, simulando el funcionamiento de una puerta real dentro de un entorno virtual.

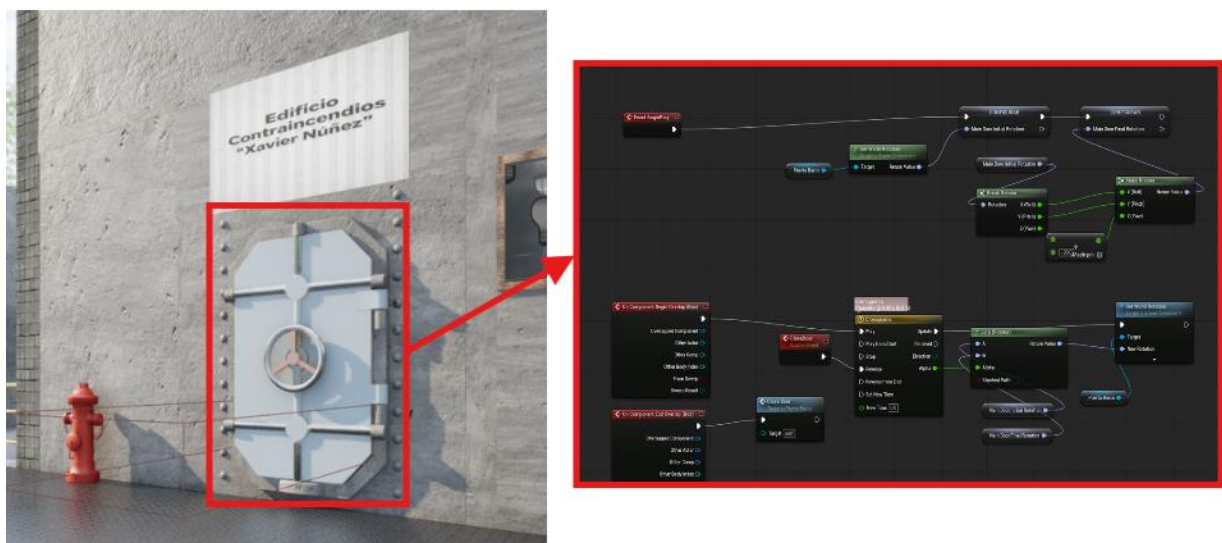


Figura 3-28 Lógica Blueprints de interacción con puertas (Autoría propia)

3.3.5.1.3 Abastecimiento y distribución de agua y gas de los edificios

Con el objetivo de aportar al escenario una mayor coherencia con el mundo real, se ha implementado un sistema de abastecimiento de agua en cada uno de los edificios que forma el escenario virtual, que simula la presencia de una red hidráulica básica. Todo este sistema se representa a través de depósitos, conducciones con tuberías y otros elementos auxiliares que se integran de forma visual en el entorno industrial.

Como se puede observar en la Figura 3-29, los depósitos de agua se sitúan en zonas delimitadas y protegidas que se conectan a los edificios mediante tuberías que simulan la distribución del suministro de agua por todo el edificio. Además de aportar un alto realismo visual, ayuda a representar de forma verosímil la infraestructura que se necesita para el funcionamiento interno de los escenarios, como si de la vida real se tratase. Este sistema hidráulico trata de simular de forma detallada de dónde aparece el

agua que se emplea para la extinción de los incendios que se desarrollan en los compartimentos y el agua empleada para simular las inundaciones en los edificios de control de averías.

Asimismo, también se ha representado un sistema de entrada de gas en los edificios (en el caso de los edificios contraincendios), con el objetivo de reforzar la ambientación del escenario y, al igual que con el agua, aportar un mayor realismo. Tal y como se muestra en la Figura 3-29, las tuberías de gas se colocan en puntos específicos de la fachada, manteniendo una disposición que guarda similitud con las infraestructuras reales en las que están basados los edificios. La representación de un sistema de gas se simula como principal fuente de activación de los fuegos que se producen en las parrillas de los distintos compartimentos que hay en el interior de los edificios, y que generan las incidencias de Seguridad Interior.

Todos estos sistemas de agua y gas se incluyen con objetivos meramente descriptivos y en simulado, ya que en ningún momento afectan a la jugabilidad durante la simulación.

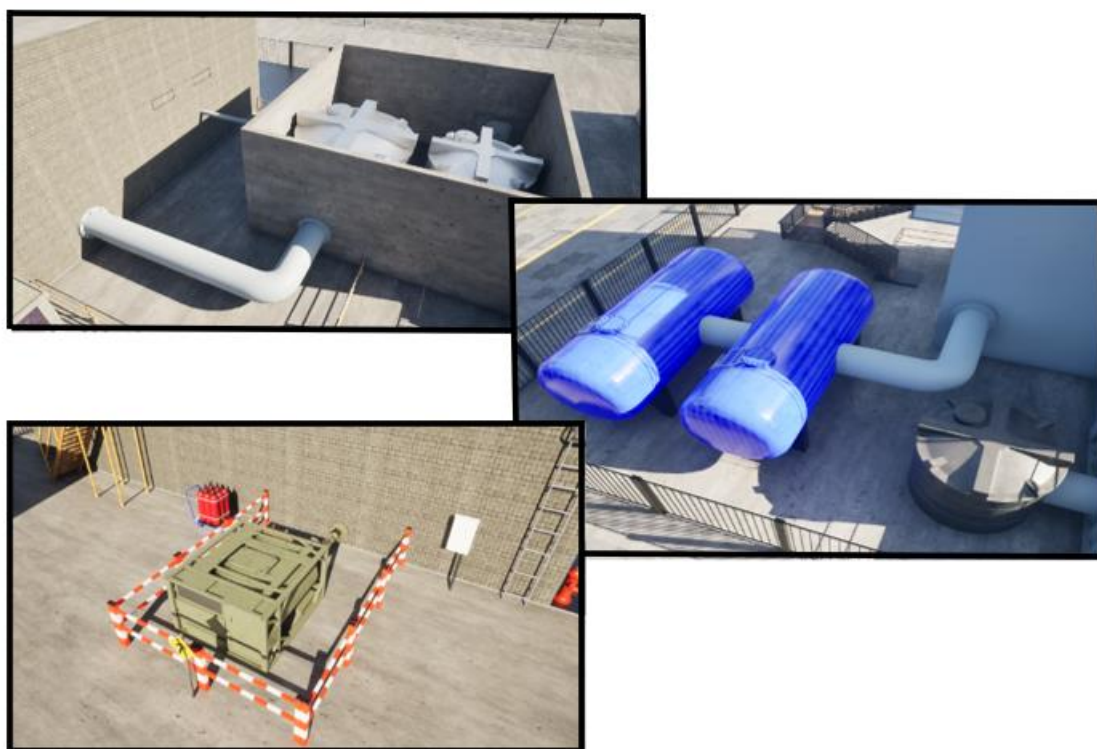


Figura 3-29 Abastecimiento de agua y gas (Autoría propia)

Como se aprecia en la Figura 3-29, estos sistemas aportan un mayor realismo al escenario, permitiendo simular de forma más precisa las condiciones necesarias para el desarrollo de las incidencias.

3.3.5.1.4 Sistema de ventilación de los edificios

Otro de los complementos que se ha incorporado a los edificios es un sistema de ventilación destinado a simular la renovación del aire en el interior de estos. Con este sistema se representa a través de conductos, rejillas y salidas de ventilación visibles desde el exterior, que se integran de manera realista y cohesionada dentro de las construcciones.

En la Figura 3-30, se puede apreciar la distribución de los conductos de ventilación y las conexiones a los edificios, para tratar de reforzar la sensación de realismo al entorno. En estos edificios completamente cerrados y donde tienen lugar numerosas incidencias relacionadas con fuegos y gases tóxicos, es totalmente necesaria la existencia de un sistema de ventilación óptimo a través del cual se pueda renovar el aire de forma cíclica aportando seguridad para el desarrollo de los ejercicios. Además,

al igual que con el sistema de agua y gas, esta red de ventilación no afecta a la jugabilidad del simulador ni al rendimiento general del escenario.



Figura 3-30 Sistema de ventilación (Autoría propia)

3.3.5.1.5 Iluminación de los compartimentos

Seguidamente, para continuar con el diseño de los compartimentos que conforman los edificios se ha añadido la iluminación de estos con el objetivo de mejorar la visualización del entorno ya que dentro de los compartimentos, al ser un lugar cerrado con los actores que forman las paredes, la iluminación global del entorno (*SkyAtmosphere* y *SkyLight*, como se puede observar en la Figura 3-12) no tiene ningún efecto y no se vería nada sin otro tipo de iluminación. Por tanto, se ha combinado el uso de elementos visuales estáticos con fuentes de iluminación dinámica propias del motor gráfico de Unreal.

En primer lugar, se han empleado mallas estáticas para representar físicamente los sistemas de iluminación a emplear en los distintos compartimentos, como focos y luces de techo, formando parte de la arquitectura propia del edificio. Este tipo de mallas tiene una función estética, ya que permite identificar de forma clara cuáles son los puntos de luz y a su vez, aporta una mayor credibilidad a los compartimentos que los contienen.

A nivel funcional, la luz real que se observa durante la simulación se ha implementado mediante luces añadidas desde la ventana de colocación de actores, explicada en la Figura 3-14, empleando principalmente *PointLight* con el objetivo de simular fuentes de luz artificial como focos o lámparas interiores, ya que es el actor que mejor representa este tipo de iluminación, como se muestra en la Figura 3-31.

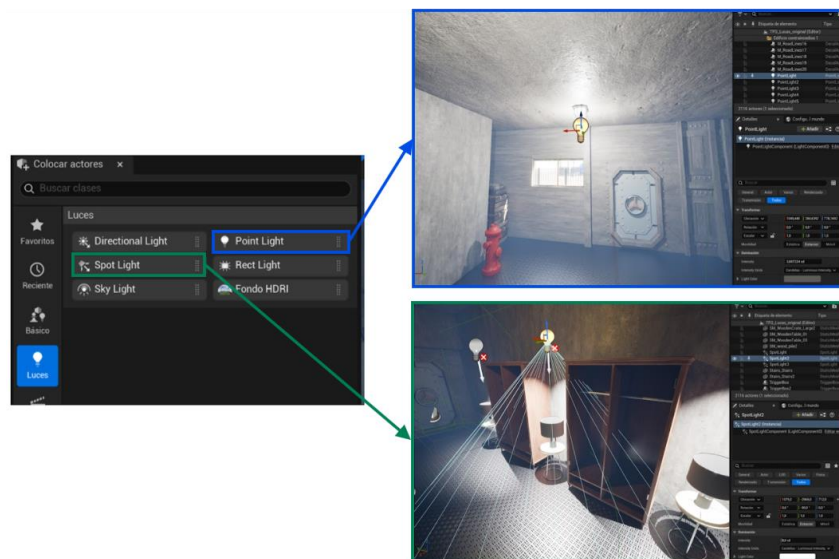


Figura 3-31 Empleo de *Point Light* y *Spot Light* en el escenario (Autoría propia)

Asimismo, también se han empleado la *Directional Light* y la *Spot Light* en otros casos del escenario, complementando la luz artificial y aportando iluminación en direcciones determinadas para tratar de aportar elementos clave para el desarrollo correcto de la simulación.

La combinación de estos tipos de luces permite que la iluminación sea similar a la que se puede encontrar en entornos reales, como podría ser un barco o una instalación técnica. Además, se mejora la inmersión del usuario en la escena y la visibilidad de los entornos cerrados.

3.3.5.1.6 Simulación de fuego, humo y agua mediante sistemas de partículas

Para la representación de fenómenos físicos como el humo, el fuego o el agua en movimiento, se ha empleado el sistema de partículas que el mismo Unreal Engine integra dentro de sus algoritmos y con el que se consigue la simulación visual y dinámica de elementos que se denominan partículas. Este sistema recibe el nombre de *Niagara*, en Unreal Engine 5, siendo la evolución del sistema *Cascade*, del cual se podía emplear en otras versiones del motor gráfico [43].

Desde un punto de vista técnico, el sistema se compone de varios elementos [43]:

- Un emisor que se encarga de definir la generación de las partículas en materia de frecuencias, cantidad y dirección, entre otros parámetros.
- El sistema de partículas es un conjunto de varios emisores que, de forma conjunta, trabajan para generar el fenómeno físico.
- Existen diferentes módulos que controlan otras propiedades del sistema, como el tamaño, el color o la velocidad de las partículas.

En primer lugar, la representación del fuego en el escenario se simula con un movimiento ascendente de partículas amarillas, naranjas y rojas que se han colocado de forma estratégica para simular los incendios que se desean para una incidencia en concreto. El sistema de partículas del fuego también emplea varios focos de *Point Light* (desarrollados en el apartado 3.3.5.1.5) con el objetivo de aportar realismo a la simulación.

En la Figura 3-32, se observan dos casos a modo de ejemplo, en los que se ha empleado tanto el sistema de partículas del fuego en el compartimento del CIC (en color azul), así como el humo para aportar realismo al incendio que se simula en una de las literas del sollado (en color verde).



Figura 3-32 Sistemas de partículas para fuego y humo (Autoría propia)

Asimismo, estos tipos de partículas han sido empleados numerosas veces en los escenarios de ambos edificios contraincendios del apartado 3.3.3.2.1, ya que, a través de estos, se representa de forma visual e interactiva el tipo de incidencia que está teniendo lugar, así como cuál es el foco que origina dicho incendio. Esto permite ampliar el conocimiento de usuario respecto a la pregunta que se le ofrece en cada una de las incidencias y permite una aproximación a lo que podría ser una realidad en un buque de guerra.

Seguidamente, la simulación del agua en movimiento también se ha empleado en numerosos casos del edificio de control de averías, desarrollado en el apartado 3.3.5.2.3. Gran parte de los parámetros coinciden con los sistemas que generan fuegos y humos; sin embargo, en este tipo de partículas se configura una colisión específica para la simulación de las gotas de agua golpeando las mallas estáticas que forman el escenario. Además, se le aplica gravedad negativa en el eje Z para permitir que el agua descienda de forma natural, así como parámetros de rebote y dispersión.

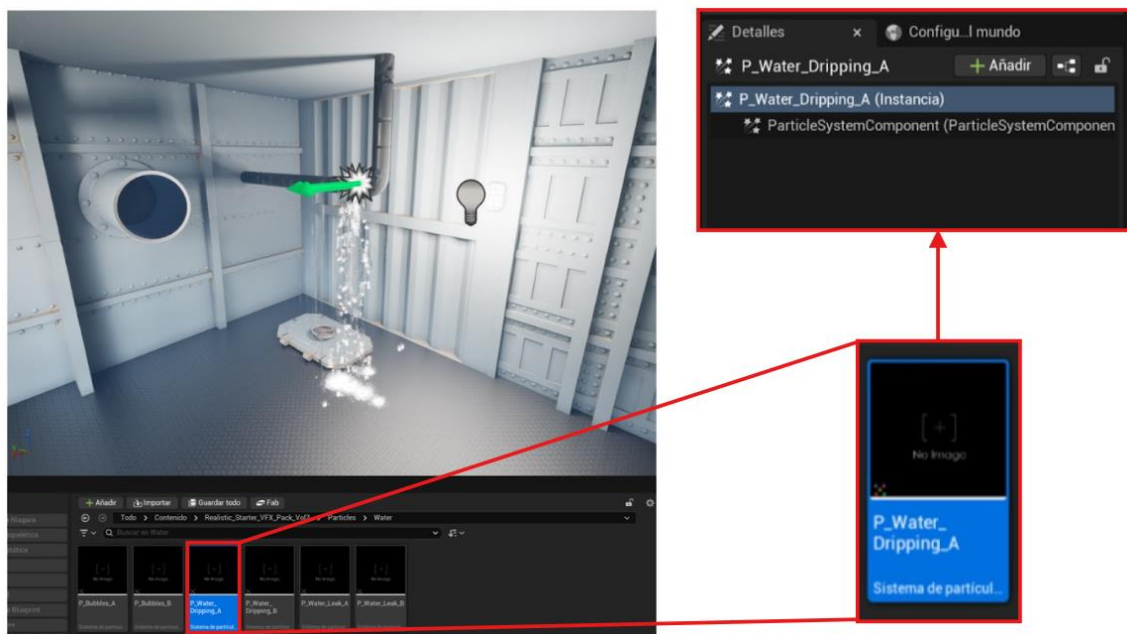


Figura 3-33 Sistema de partículas para agua (Autoría propia)

3.3.5.1.7 Diseño e implementación de carteles

Para poder identificar los distintos elementos del entorno, se han desarrollado varios sistemas de carteles identificativos para algunas partes del escenario, como edificios y compartimentos. Además de cumplir con una función estética, también forma parte de la interacción del usuario con el simulador ya que facilita en la mayoría de los casos la orientación del jugador en la ejecución del nivel, como en el caso de los carteles que dan nombre a los edificios y lugares clave del nivel, como las distintas zonas que se encuentran dentro de una estación de descontaminación.

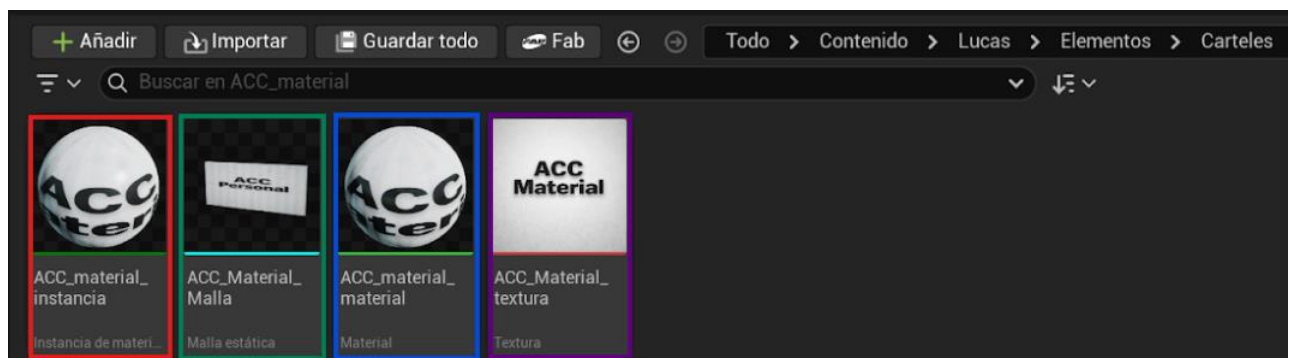


Figura 3-34 Actores empleados para el diseño de carteles (Autoría propia)

En primer lugar, se han diseñado las imágenes base a emplear utilizando herramientas de edición gráfica como *Microsoft PowerPoint* y *Paint*, o en otros casos, generación asistida mediante IA (Inteligencia artificial). Una vez generada esta imagen con un diseño determinado se ha exportado en formato PNG al ordenador personal, para después ser importada como textura en Unreal Engine 5 desde el explorador de contenido, representada en la Figura 3-34 con el color morado, y generándose de forma automática un *asset* de tipo *Texture2D* dentro del proyecto.

Seguidamente, para poder aplicar esta textura a un elemento 3D, se ha creado un material base metálico, representado en color azul en la Figura 3-34, y se ha introducido dentro del editor de materiales, tal y como se ve en la Figura 3-35, utilizando un nodo *Texture Sample* con la textura del cartel.

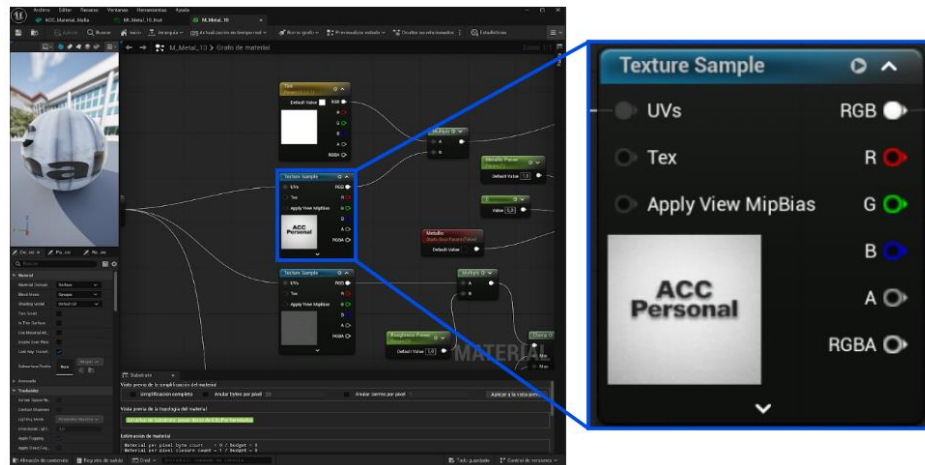


Figura 3-35 Nodo para introducir una textura en un material (Autoría propia)

El siguiente paso para poder generar el cartel consiste en crear un *MaterialInstance* a partir del material creado previamente, como se observa en la Figura 3-36 en color rojo, para poder modificar los parámetros de este sin tener que afectar al material original. Asimismo, este actor es el que se introduce dentro de la malla estática simple que define el plano sobre el que se representan los carteles, representado en color verde dentro de la Figura 3-36.

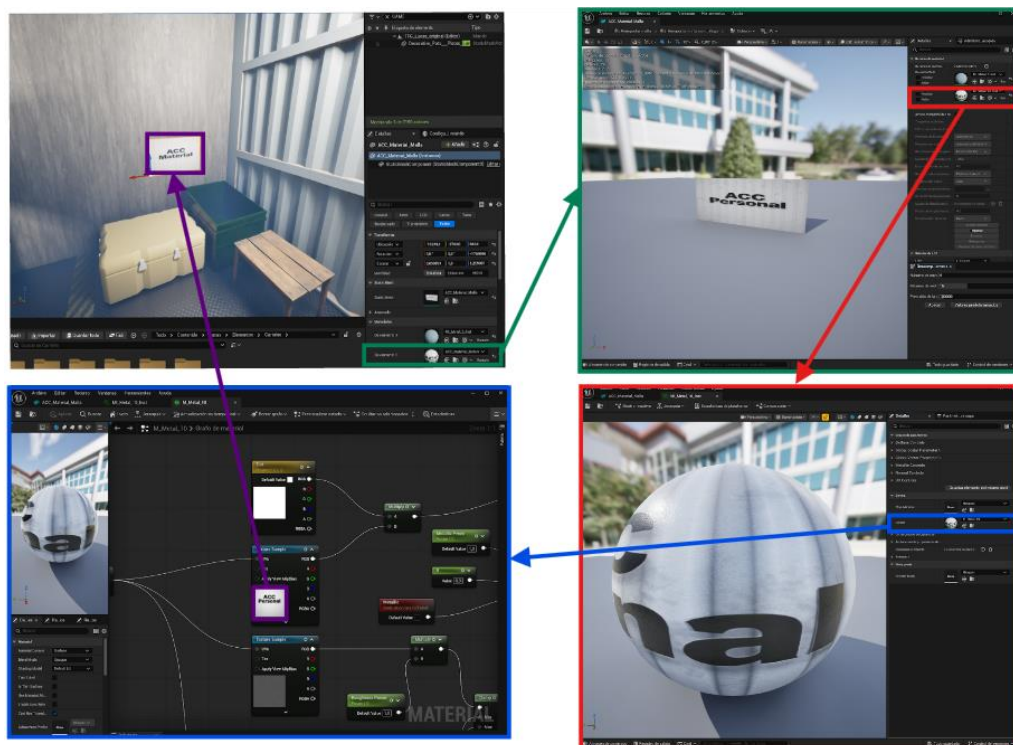


Figura 3-36 Proceso de creación de un cartel (Autoría propia)

En la Figura 3-36, los colores están relacionados con cada uno de los tipos de actores que se observan en la Figura 3-34, la cual define qué actores forman los carteles que se disponen en el escenario virtual.

3.3.5.2 Estructuración del escenario

El escenario que se desarrolla en el presente proyecto se ha estructurado como un entorno único, dentro de un solo nivel de Unreal Engine, en el que se agrupan todos los elementos tanto de construcción como funcionales, que forman la simulación. A diferencia de muchos otros simuladores de este tipo donde se suelen realizar varios niveles en función de los objetivos del proyecto, en este trabajo se trata de mantener una visión global del escenario, aportando coherencia a la simulación y permitiendo una interacción continua del usuario con el entorno, ya que en todo momento puede observar la variedad de elementos que lo componen.

Dentro de este escenario, los distintos edificios que lo componen se han creado como espacios claramente diferenciados, cada uno de ellos con nombre propio y con una función específica dentro de la simulación. Con esta estructuración se trata de organizar el escenario de forma lógica y comprensible, permitiendo una mejor interacción del usuario.

En los subapartados siguientes se describe de forma detallada cada uno de los edificios que conforman el escenario, hablando de las características constructivas de estos, así como de los sistemas lógicos y elementos particulares que se añaden para la simulación. Estos subapartados definen las cuatro áreas en las que se ha organizado el escenario y que se enumeran brevemente a continuación:

- **Zona inicial:** La primera de las zonas consiste en la fase introductoria y de preparación para el escenario, donde se busca la familiarización del usuario con el simulador y con los elementos básicos de interacción.
- **Adiestramiento contraincendios:** En estas zonas, se encuentran los escenarios y edificios relacionados con la detección, prevención y extinción de incendios, donde se producen simulaciones realistas de las situaciones de emergencia que se pueden dar en este aspecto.
- **Control de averías:** Esta tercera parte se centra en las incidencias relacionadas con problemas en la integridad estructural de los compartimentos, provocadas por inundaciones y fugas de agua.
- **Estación NRBQ:** En esta última zona, se simulan elementos específicos que permiten simular este tipo de amenazas y procedimientos.

3.3.5.2.1 Zona inicial

La zona inicial del escenario constituye el punto inicial de la simulación, siendo el lugar donde el usuario aparece al comenzar la simulación dentro del entorno virtual. Con esta zona se busca introducir al jugador en los conceptos básicos relacionados con la lucha contraincendios, siendo el tópico más numeroso en el escenario, permitiendo una primera toma de contacto con los elementos que se emplearán en el resto del simulador.

Para el diseño de esta área se ha modelado una nave industrial, mostrada en la Figura 3-37, debido a la configuración amplia y abierta que caracteriza a este tipo de construcciones, lo que permite tener buena visualización de todos los elementos informativos que se disponen, así como un correcto movimiento del usuario por dicho espacio interior.

Además, la zona inicial se ha diseñado como un área de carácter formativo, en la que el usuario puede familiarizarse con los conceptos básicos y los elementos que se emplearán posteriormente en los distintos escenarios del simulador.

De este modo, la zona inicial no solo cumple una función introductoria, sino que resulta clave para garantizar una correcta adaptación del usuario al entorno virtual, facilitando su comprensión de los elementos y mecánicas que se emplearán en las fases posteriores de la simulación.



Figura 3-37 Zona inicial (Autoría propia)

En el interior de esta nave se presentan dos bloques principales de contenido formativo. Por una parte, en la Figura 3-38, se incluyen distintos medios de extinción, como extintores portátiles o mangueras contra incendios, todo dispuesto con paneles informativos que explican las características, aplicaciones y limitaciones en función del tipo de incendio. Además, estos paneles permiten al usuario familiarizarse con los equipos que posteriormente aparecerán en los distintos escenarios de la simulación.

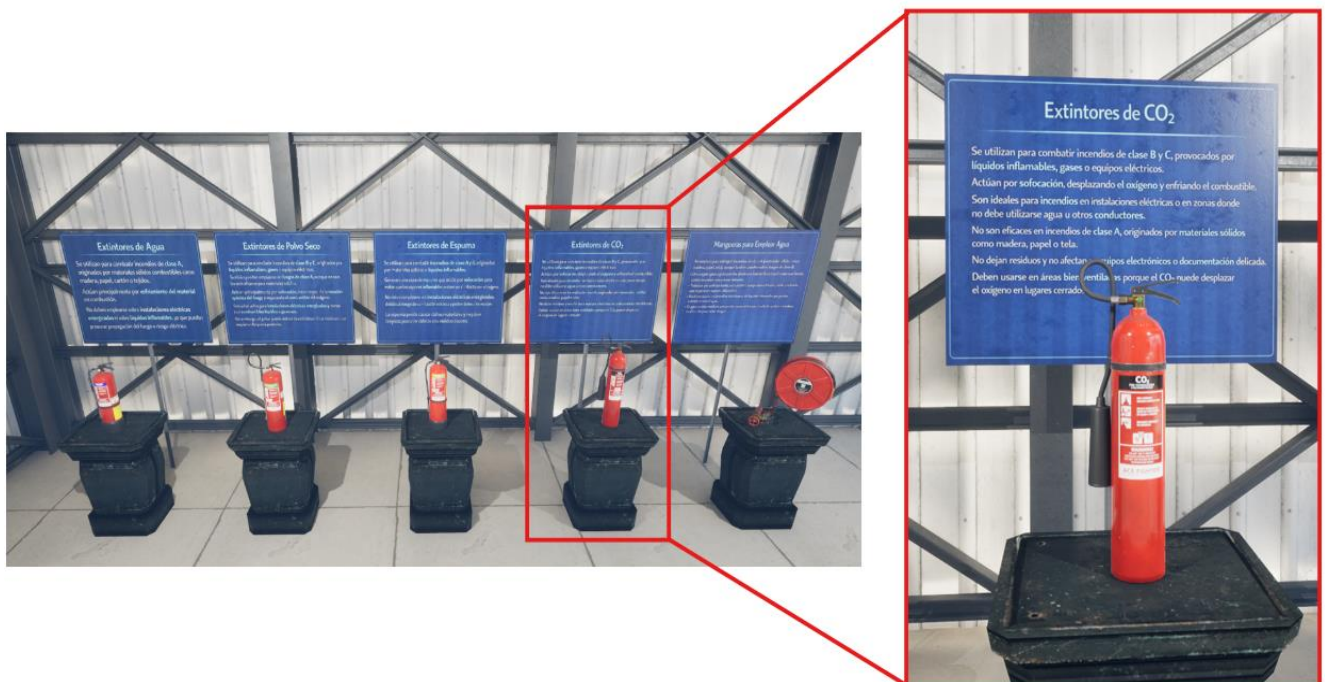


Figura 3-38 Medios de extinción de la zona inicial (Autoría propia)

Los carteles informativos que acompañan a cada uno de los elementos expuestos en la zona inicial han sido realizados a partir de un diseño modelado por una inteligencia artificial, que posteriormente ha sido exportado como una textura y para acabar formando parte de una malla estática como se observa en la Figura 3-39. Este proceso se ha explicado de manera detallada en el apartado 3.3.5.1.7.

Estos paneles informativos constituyen un apoyo visual fundamental dentro del proceso de aprendizaje, permitiendo al usuario comprender de forma clara y rápida las características y el uso de cada medio de extinción presente en la simulación.

Extintores de Polvo Seco

Se utilizan para combatir incendios de clase B y C, originados por **líquidos inflamables**, gases o equipos eléctricos. También pueden emplearse en **fuegos de clase A**, aunque no son los más eficaces para materiales sólidos.

Actúan principalmente por **sofocación**, interrumpiendo la **reacción química** del fuego y separando el combustible del oxígeno.

Son adecuados para **instalaciones eléctricas energizadas** y zonas con **combustibles líquidos o gaseosos**.

Sin embargo, el polvo puede reducir la visibilidad y dejar residuos que requieren limpieza posterior.

Figura 3-39 Modelo de cartel informativo de la zona inicial (realizado con IA)

Por otra parte, se ha diseñado una zona dedicada a la clasificación de los tipos de fuego, como se muestra en la Figura 3-40, donde se muestran las diferentes clases de incendios (A, B, C, D, E y F) junto con ejemplos que representan los materiales combustibles asociados a cada una de ellas. Por tanto, cada tipo de fuego se representa mediante un actor físico representado sobre unos pedestales, con el objetivo de permitir al usuario identificar visualmente de qué tipo de incendio se trata y cuáles son sus características.



Figura 3-40 Clases de incendios en zona inicial (Autoría propia)

De este modo, la zona inicial funciona como un espacio de introducción al aprendizaje, donde el usuario puede adquirir conocimientos básicos antes de continuar con las áreas principales de entrenamiento con las que cuenta el simulador.

3.3.5.2.2 Área de adiestramiento contraincendios

El área de adiestramiento contraincendios constituye una de las zonas principales del escenario, la cual está orientada a simular situaciones relacionadas con las incidencias provocadas por fuegos y humos en buques de guerra. Esta parte del escenario ha sido diseñada para reproducir un entorno realista, basándose en edificaciones ya existentes en otros centros de adiestramiento e instrucción de la Armada, como se mostrará a continuación.

Dentro de esta área se han definido dos edificios diferenciados, en los que el usuario puede interactuar con distintos espacios y elementos típicos de este tipo de instalaciones. Ambos edificios comparten los mismos criterios de construcción, de iluminación y de colisiones, pero tienen características distintas, lo que permite simular distintos escenarios de actuación.

En primer lugar, el edificio denominado “Xavier Núñez” se trata del elemento central del área de adiestramiento contraincendios. Es una construcción basada en el edificio principal de contraincendios del CISI de la Escuela de Especialidades "Antonio de Escaño" de Ferrol, como se observa en la Figura 2-17, en el que se representan distintos compartimentos interiores destinados a la simulación de emergencias relacionadas con incendios en espacios cerrados.

Además, el edificio presenta una estructura robusta de ladrillos de piedra, con los accesos definidos con puertas estancas similares a las de un buque de guerra (explicadas en el apartado 3.3.5.1.2), sistemas de señalización y otro equipamiento específico contra incendios. También se observan elementos exteriores ya detallados anteriormente, como los sistemas de ventilación y las redes de agua y gas que aportan realismo a las edificaciones. Asimismo, el edificio está vallado perimetralmente, con el objetivo de limitar el área de actuación del usuario durante la simulación y controlar el acceso al mismo para que la ejecución de las incidencias se desarrolle correctamente. Todo esto se observa claramente en la Figura 3-41.

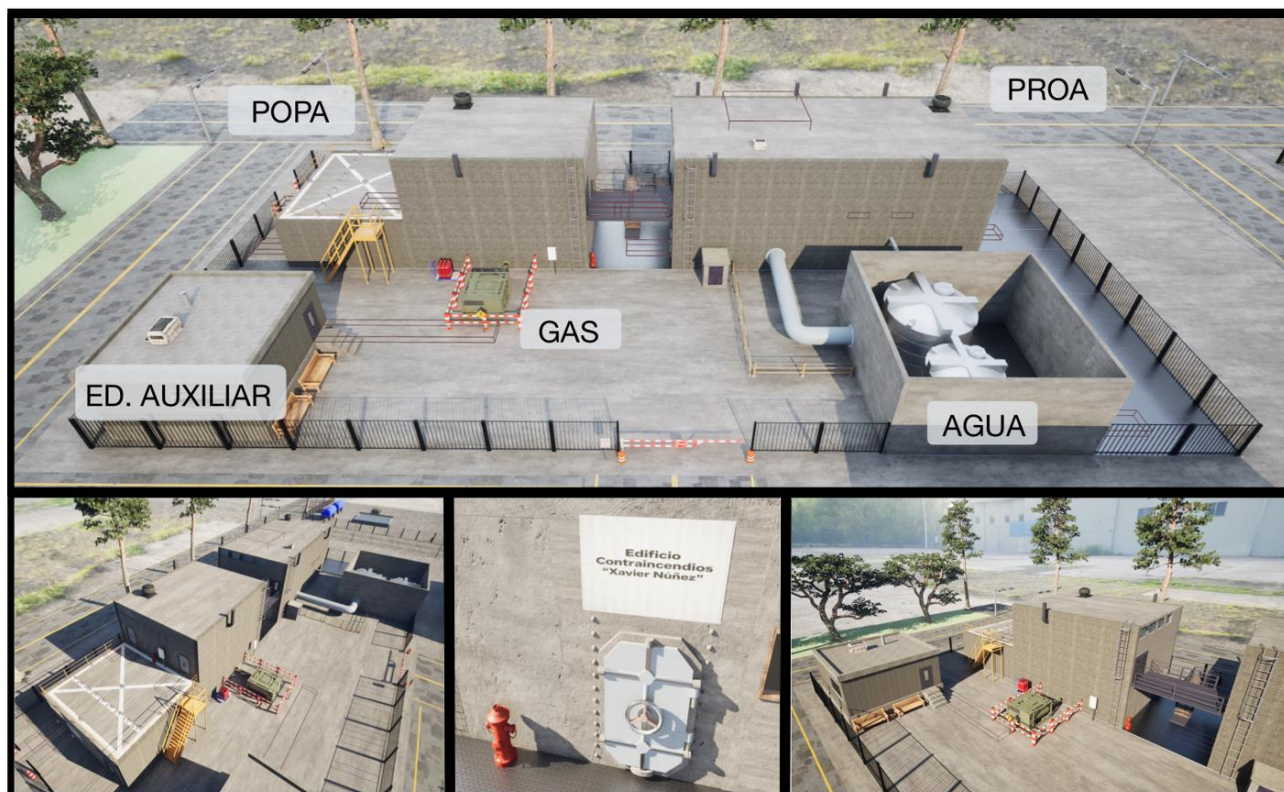


Figura 3-41 Edificio contraincendios "Xavier Núñez" (Autoría propia)

En el entorno del edificio se encuentra una construcción auxiliar de menores dimensiones, que está integrada dentro del mismo conjunto y cuya función es simular un pañol de material contraincendios, además de complementar las funciones del edificio principal, mostrada en la Figura 3-42.

Del mismo modo, la configuración exterior del edificio “Xavier Núñez” tiene una arquitectura exterior inspirada en una estructura propia de un buque de guerra, tal y como se muestra en la Figura 3-41, con la cubierta de vuelo situada en popa.

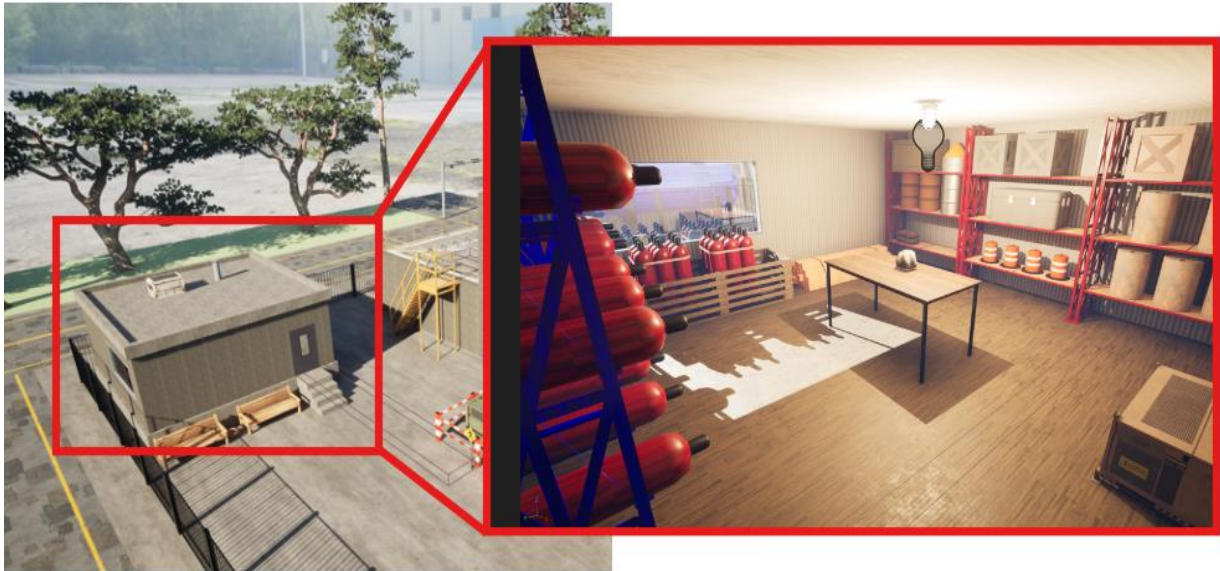


Figura 3-42 Edificio auxiliar contraincendios (Autoría propia)

El edificio de contraincendios “Xavier Núñez” también ha sido diseñado en función de la disposición y caracterización de los compartimentos interiores, los que tienen un papel fundamental en la simulación de escenarios realistas. En estos compartimentos se reproducen situaciones habituales de incidencias de Seguridad Interior, bien por accidentes o por situaciones de combate.

En primer lugar, el sollado que se observa en la Figura 3-43, constituye uno de los compartimentos cerrados del edificio “Xavier Núñez”, destinado a representar una zona de descanso y alojamiento del personal como se observa con las literas y las taquillas, con lo que se busca una configuración habitual en entornos navales. El fuego representado en este compartimento se sitúa sobre una de las últimas literas del sollado, siendo un incendio de clase A.

Además, en el siguiente compartimento, se representa el CIC (Centro de Información para el Combate), siendo un espacio en el que se simulan varios centros de información, radios y otros dispositivos electrónicos con el objetivo de representar un incendio de clase E, en el que una de las primeras medidas a tomar sea la realización del aislamiento eléctrico. En la Figura 3-43, se observa un espacio equipado con mesas de trabajo, armarios con distintas tecnologías, equipos de radiocomunicaciones y otros elementos electrónicos.

Otro compartimento de gran importancia dentro de un buque de guerra es la cocina, ya que se trata de una zona de gran riesgo y donde se produce la gran parte de las incidencias relacionadas con incendios en buques. En este habitáculo se representa un incendio provocado por aceites de cocina, en uno de los fogones que se representan, junto con otros electrodomésticos como hornos, campanas extractoras, instrumentos de cocina y otro mobiliario auxiliar propio de estos compartimentos, tal y como se muestra en la Figura 3-43.

De este modo, la representación de distintos compartimentos permite recrear de forma realista las situaciones más habituales de emergencia a bordo, facilitando el entrenamiento del usuario en la identificación de riesgos y la aplicación de los procedimientos adecuados en cada caso.



Figura 3-43 Compartimentos del edificio contraincendios "Xavier Núñez" (Autoría propia)

Además de los tres compartimentos principales que se muestran en la Figura 3-43, se han diseñado otros compartimentos en la cubierta superior del edificio, en el cual se representan otros espacios básicos con los que cuenta cualquier buque y que una incidencia en este tipo de lugares supondría un grave peligro para la integridad y la seguridad del buque y de su dotación.



Figura 3-44 Pañol de munición y despensa de alimentos (Autoría propia)

Como se observa en la Figura 3-44, en primer lugar, se ha diseñado un compartimento que simula el pañol de municiones de un barco, mientras que el otro, se trata de la despensa del barco con comidas, bebidas y especias.

Dentro del edificio "Xavier Núñez" se ha diseñado un compartimento específico que simula una cámara de máquinas, para representar uno de los espacios de mayor importancia y peligrosidad de los que dispone un barco ante estas situaciones.

Además, como se observa en la Figura 3-45, este compartimento está diseñado para poder incorporar un escenario de *rollover* (fenómeno que ocurre durante un incendio en un recinto cerrado, definido como la formación y rápida expansión de un frente de llamas en la parte superior de un compartimento [9]), característico de varias situaciones de emergencia a bordo. Asimismo, al igual que el resto de diseño y modelado 3D del escenario, la mayoría de los actores que forman este compartimento proceden de bibliotecas de recursos de Fab, en la *Epic Games Store*.

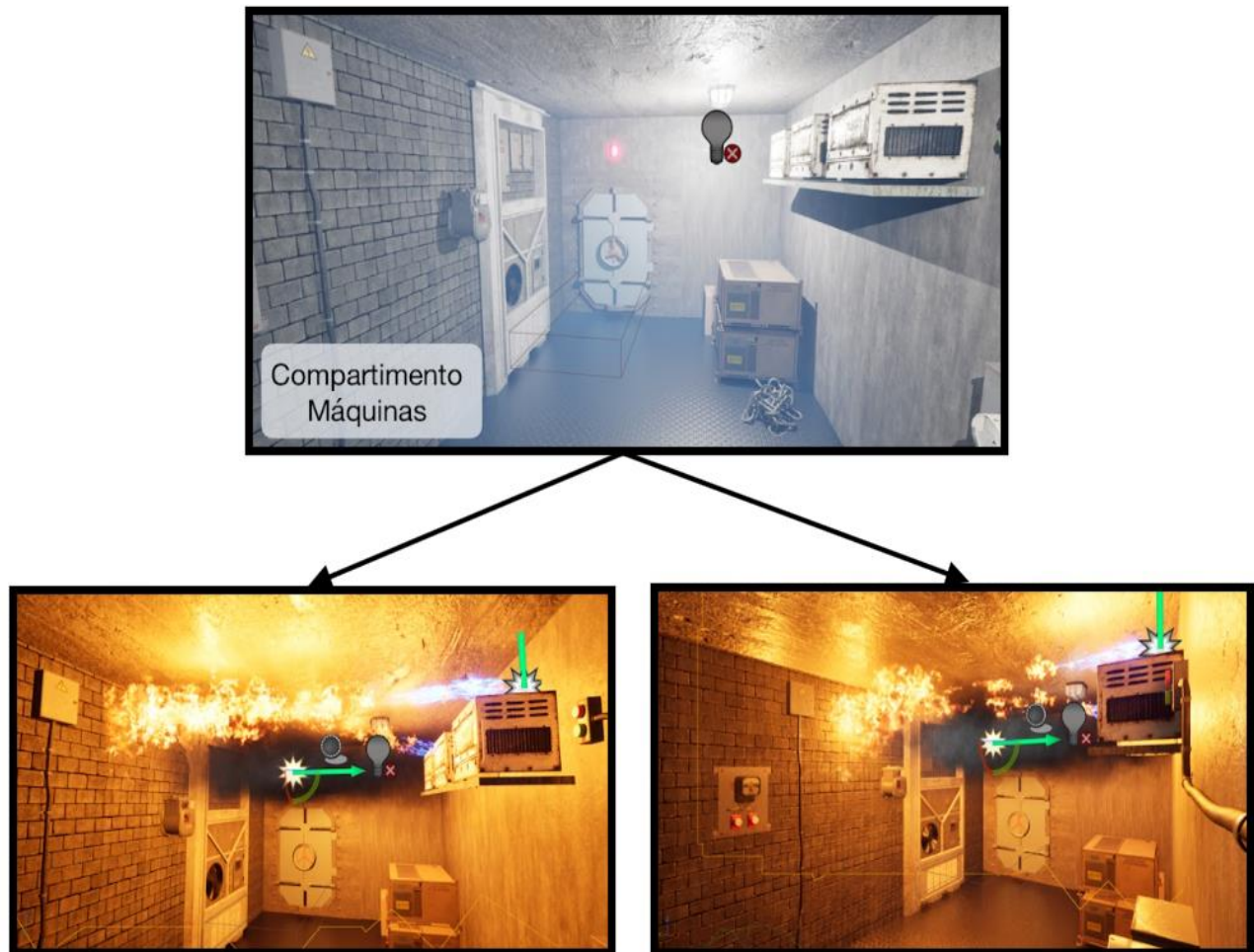


Figura 3-45 Compartimento máquinas con rollover (Autoría propia)

Con el objetivo de cumplir con la organización real de un buque de la Armada, se ha diseñado un compartimento específico con el que se representa la Central de Seguridad Interior (CSI) de la que disponen todos los barcos. Con este espacio se representa el centro de información y control desde el que se coordinan y se supervisan las incidencias de Seguridad Interior que se producen en el interior de un buque.

Además, esta parte del escenario se simula como centro de control de las incidencias que ocurran dentro del edificio contraincendios “Xavier Núñez”, para generar seguridad sobre el usuario en el caso de que se tratase de un entorno real.

En la Figura 3-46, se observa una serie de pantallas desde donde se lleva la vigilancia de los distintos compartimentos, a través de las cámaras simuladas en estos. A su vez, también se han colocado actores que simulan los dispositivos de comunicación para ejecutar un correcto mando y control en los distintos espacios, garantizando así la coordinación eficiente de los recursos, la supervisión continua del estado del sistema y la toma de decisiones en tiempo real durante situaciones críticas. Todo ello permite mejorar la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia, optimizar la toma de decisiones en tiempo real y asegurar una gestión más eficaz de los medios disponibles, reduciendo el impacto de los posibles daños y aumentando la seguridad global del sistema.

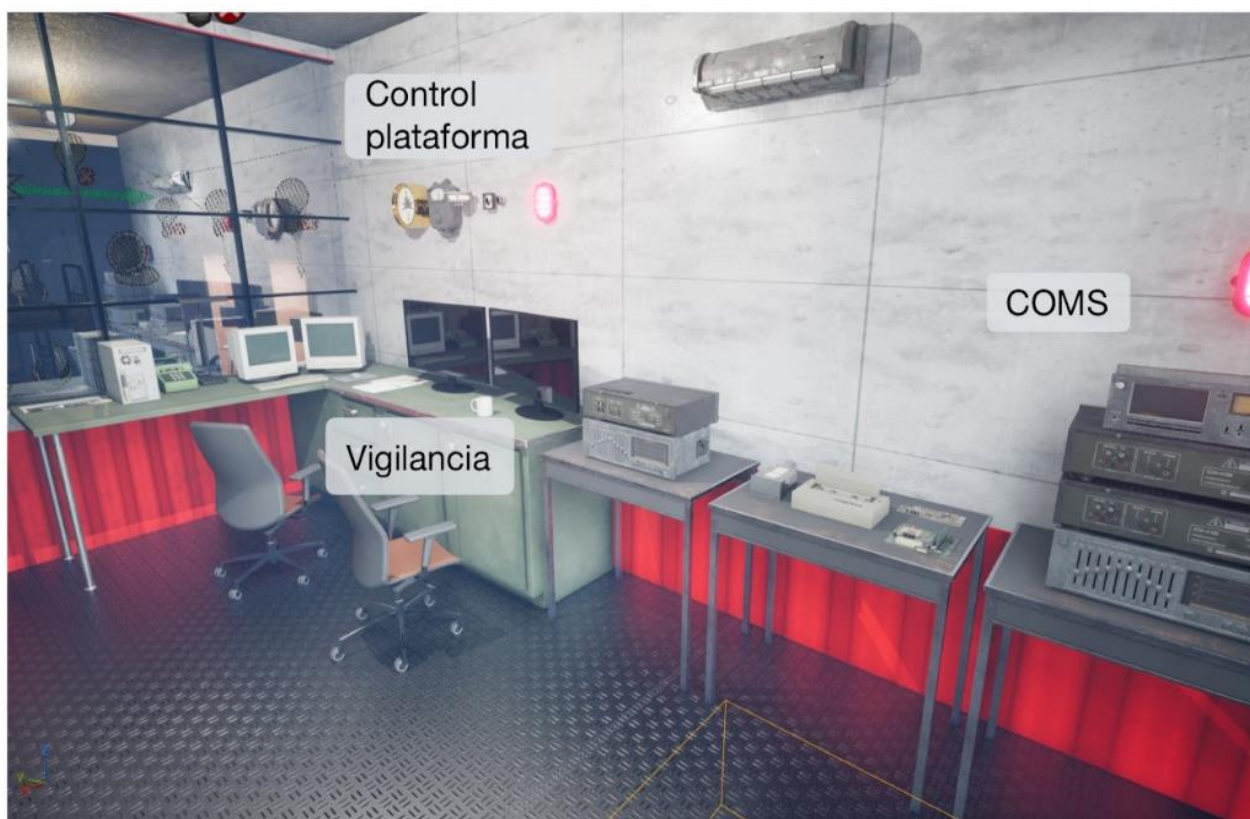


Figura 3-46 Central de Seguridad Interior (Autoría propia)

Seguidamente, el adiestrador de contraincendios se constituye de otro edificio denominado “Escuela Naval Militar”, con el objetivo de llevar a cabo la ejecución de ejercicios de lucha contra incendios, pero en espacios confinados, característicos de los buques de guerra, donde el aprovechamiento del espacio es una de las bases de su arquitectura y diseño.

El diseño de este edificio está basado en una infraestructura real construida a partir de módulos tipo contenedor, situada en el Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior (CASI) de la Escuela Naval Militar, instalación que además da nombre al edificio virtual desarrollado en este proyecto.

Del mismo modo, este edificio ha sido diseñado siguiendo una configuración modular en forma de “L”, compuesta por contenedores marítimos de carga, apilados para formar la estructura deseada, tal y como se observa en la Figura 3-47. Por tanto, se trata de una estructura metálica, que cuenta con una escalera exterior para el acceso a la cubierta superior y con barandillas y pasarelas que delimitan el perímetro del edificio.

A su vez, como se desarrolla en el apartado 3.3.5.1.4, cuenta con un sistema de ventilación superior para la extracción de los gases y humos que produce la generación de fuegos, así como una red de agua y gas para aportar realismo a la simulación.

Este planteamiento constructivo permite integrar de forma coherente los distintos elementos funcionales del edificio, favoreciendo la simulación de situaciones complejas en espacios reducidos. Además, la disposición de los módulos y la incorporación de sistemas auxiliares facilitan la recreación de condiciones variables dentro del entorno, lo que contribuye a mejorar la capacidad de adaptación del usuario ante distintos escenarios operativos.

Una vez definida la central de Seguridad Interior como núcleo de control del sistema, se procede al desarrollo del edificio destinado al adiestramiento en lucha contra incendios, donde se simulan escenarios específicos orientados a la formación práctica del usuario.



Figura 3-47 Edificio Contraincendios "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)

El interior del edificio ha sido diseñado para simular compartimentos cerrados sometidos a condiciones reales de incendios de pequeñas, medianas y grandes proporciones, con el objetivo de realizar maniobras bajo estrés operativo, con baja visibilidad y con acumulación de humos. Como se muestra en la 3-47, el edificio está dividido en dos niveles: un piso inferior y otro superior, siendo este último de menor tamaño que el nivel base. Además, se han incorporado en el interior varias parrillas de combustión que permiten representar focos de fuego controlados dentro de espacios confinados, lo que permite recrear escenarios realistas de fuego en los pasillos.

Visualmente, como se observa en la Figura 3-48, las parrillas actúan como plataformas sobre las que se disponen sistemas de partículas para poder simular llamas dinámicas, con humos ascendentes y con la emisión de chispas. Además, con este tipo de incidencias se pueden aportar acciones realistas para que el jugador tenga una mejor interacción con el escenario.

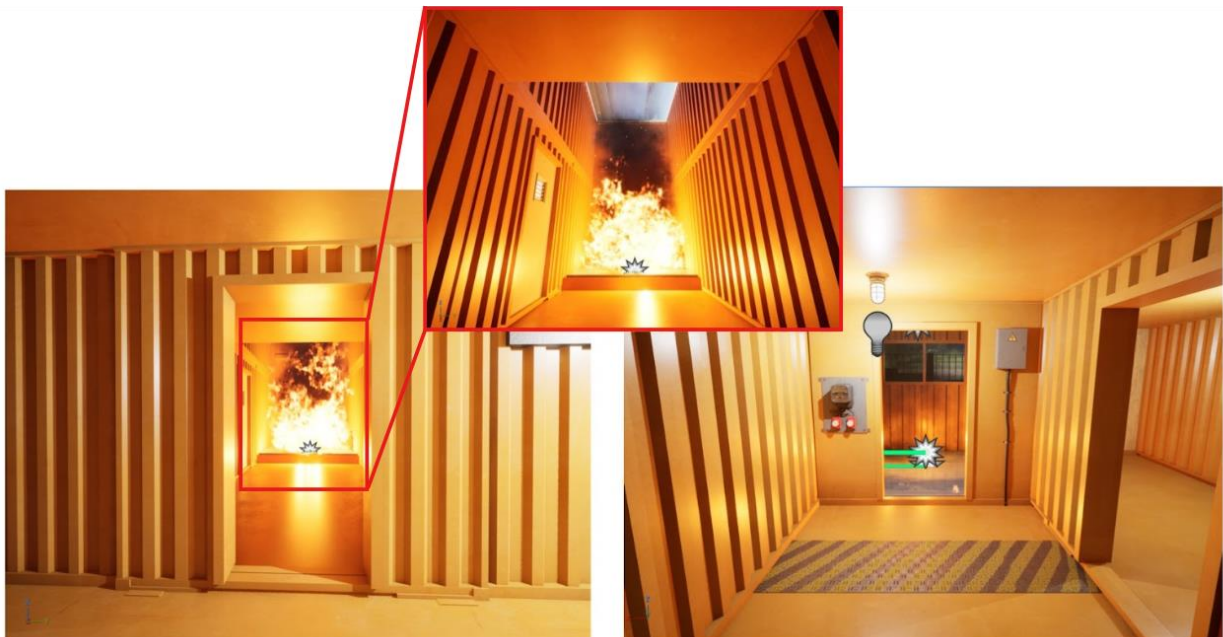


Figura 3-48 Parrillas edificio "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)

Con la pequeña de las parrillas se simula la extinción de incendios mediante agua nebulizada, ya que se incorporan sistemas de partículas de agua y fuego. En cuanto a la parrilla de mayor tamaño, se ha diseñado con el objetivo de poder simular un incendio de grandes dimensiones dentro de un espacio confinado.

Además de las parrillas descritas anteriormente, este edificio contraincendios tiene otros compartimentos en la cubierta principal, diseñados específicamente para poder simular distintos tipos de incendios y generación de humos, como se muestra en la Figura 3-49. Con este tipo de espacios, se simulan escenarios realistas y orientados al adiestramiento del personal.



Figura 3-49 Humos e incendios del edificio "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)

Con la simulación del humo en un pañol cerrado, se muestra que no es necesario que exista un foco de fuego visible para que exista un peligro grave para el buque, sino que ya es suficiente con la acumulación progresiva de humo debida a un conato o a una combustión incipiente. Asimismo, se ha simulado un incendio eléctrico en otro de los compartimentos, empleando un sistema de partículas de fuego sobre uno de los equipos eléctricos del espacio.

Los compartimentos representados en la Figura 3-50. Se corresponden con el piso superior del edificio. Se muestra un despacho de mando y control, en el que se simula un espacio realista con mobiliario y equipos electrónicos, en el que se produce un incendio eléctrico en uno de los dispositivos electrónicos.



Figura 3-50 Zona superior edificio "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)

También se ha diseñado en este espacio una zona específica de elementos de ventilación, siendo un compartimento de estanqueidad Z, destinada al adiestramiento del usuario en la identificación y aplicación de las condiciones de estanqueidad, así como de la evaluación de la propagación de humos por los conductos de ventilación, basándose en la doctrina correspondiente.

Para continuar, en el escenario del presente proyecto se han incorporado dos parrillas metálicas para simular fuegos controlados de distintas magnitudes. Este tipo de estructuras, visibles en la Figura 3-51, están situadas en otras de las zonas acotadas del recinto y simulan un entorno que es típico de los centros de formación de la vida real, con el objetivo de llevar a cabo prácticas de extinción, con fuegos de grandes dimensiones.



Figura 3-51 Parrillas prácticas contra incendios (Autoría propia)

Aunque estas parrillas no forman parte del sistema de evaluación del simulador, es decir, no afectan al cálculo de los resultados ni a la puntuación que se obtiene finalmente para el usuario, su diseño sí que tiene una función estética ya que ayuda a aportar una mayor ambientación del escenario.

En la Figura 3-51, se muestra cómo se simulan las parrillas activadas con el depósito de gas de color verde conectado a cada una de ellas. Además, se observan los depósitos de agua que alimentan a los boquiles, a los que se conectan las mangueras y con los que se puede atacar el incendio.

3.3.5.2.3 Área de adiestramiento en control de averías

El edificio denominado “Francisco Troncoso” se trata del edificio dedicado al adiestramiento en Control de Averías, una de las áreas fundamentales de la Seguridad Interior en buques de guerra. Este diseño, así como su funcionalidad, está inspirado en un proyecto desarrollado por *Navantia* con el objetivo de modernizar el Centro de Instrucción de Seguridad Interior (CISI) de Ferrol; sin embargo, este proyecto nunca ha llegado a materializarse.

Con el control de averías se busca llevar a cabo procedimientos y actuaciones que ayuden a preservar la flotabilidad, estabilidad y operatividad del buque ante situaciones de daño, como inundaciones, averías estructurales o fallos en sistemas esenciales, bien sea en tiempos de paz o de guerra [44]. Por tanto, el edificio que se muestra en la Figura 3-53, trata de recrear un compartimento naval, basándose en su arquitectura y disposición interior.

De este modo, la incorporación de estos elementos permite enriquecer el entorno de simulación, aportando mayor realismo a los escenarios de entrenamiento y facilitando la familiarización del usuario con situaciones propias de los ejercicios de contra incendios.

Como se ha indicado anteriormente, el diseño del edificio simula el anteproyecto del simulador de control de averías propuesto por *Navantia*, el cual se observa en la Figura 3-52. Este espacio cumple un conjunto de características propias de los barcos [44]:

- Estructura de acero con varias cubiertas.
- Espacios diferenciados para prácticas de inundación, control y recuperación de la flotabilidad.
- Empleo de sistemas de tuberías, válvulas y bombas como las ya existentes en la Armada.
- Posibilidad de simular averías en la estructura y vías de agua que generen inundaciones.

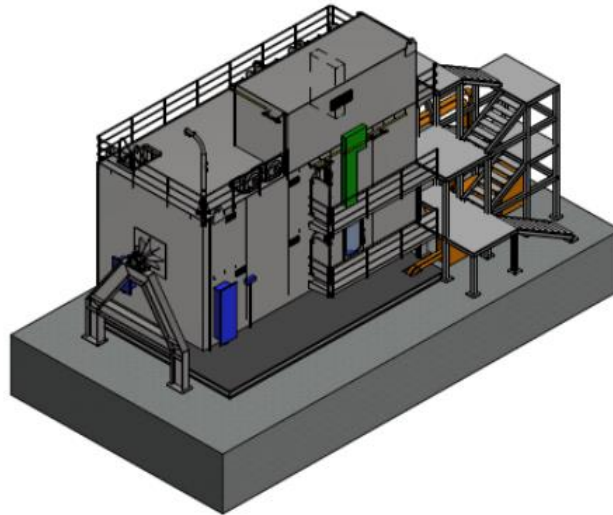


Figura 3-52 Anteproyecto Navantia (Escuela de Especialidades "Antonio de Escaño")

Tal y como se muestra en la Figura 3-53, en la parte exterior del edificio control de averías se observa una estructura con numerosas entradas y salidas de tuberías de gran diámetro, las cuales se emplean para poder simular las entradas de agua en los compartimentos. Esto es posible gracias al sistema de agua que se explicó con anterioridad en el apartado 3.3.5.1.3.



Figura 3-53 Edificio Control de Averías "Francisco Troncoso" (Autoría propia)

Además, el espacio cuenta con dos accesos en ambos costados de la estructura, accesibles mediante escaleras y plataformas elevadas, así como otros elementos auxiliares que aportan gran realismo a la simulación.

Dentro del área destinada al control de averías, se ha destinado una zona específica para las prácticas de apuntalamiento, con el objetivo de simular los ejercicios de diseño y construcción de estructuras de madera, para la estabilización estructural en situaciones de emergencia, ejemplificado en la Figura 2-14. Además, como se muestra en la imagen Figura 3-54, la superficie está delimitada con zonas para la intervención y facilitación, de los cálculos y de la construcción.



Figura 3-54 Espacio para prácticas de apuntalamiento (Autoría propia)

El interior del edificio “Francisco Troncoso” ha sido estructurado en tres niveles diferenciados, con el objetivo de simular los distintos compartimentos de los que dispone un buque y programar el desarrollo de múltiples escenarios para el entrenamiento del personal en materia de inundación y control de la estabilidad.

Gracias al edificio con niveles verticales, se permite simular las cubiertas con las que están constituidos los barcos y, además, poder practicar los achiques y las maniobras a distinto nivel, las cuales son indispensables para una correcta formación del usuario. Por tanto, el interior se organiza en una cubierta principal, la cubierta intermedia y la superior.

En primer lugar, la cubierta principal es el primer nivel del edificio y en él, se han modelado varios compartimentos con elementos estructurales metálicos, escotillas estancas y mamparos reforzados. Además, se han simulado diferentes tipos de incidencias, como fugas de agua en tuberías y orificios en mamparos, activación de sistemas fijos de achique e intervenciones sobre válvulas y sistemas móviles de achique.

En la Figura 3-55, se muestra visualmente los distintos espacios que componen la cubierta principal del edificio de control de averías. Asimismo, en esta cubierta existe un segundo nivel dentro de la misma en el que se contienen elementos propios de un buque y con la que se simulan los paños que contienen los barcos.



Figura 3-55 Cubierta principal del edificio "Francisco Troncoso" (Autoría propia)

Seguidamente, para acceder a la cubierta intermedia hay que hacerlo desde una de las escaleras metálicas del exterior ya que no hay paso interior para acceder a esta. En esta zona se ubica un espacio que simula una zona de supervisión de escora y de equipos, así como otros elementos como fugas en tuberías que ayudan a proporcionar una base realista sobre la que realizar las preguntas durante la ejecución del simulador. En la Figura 3-56, se muestra detalladamente esta cubierta intermedia, junto con el espacio de control de averías y la fuga en una de las tuberías.

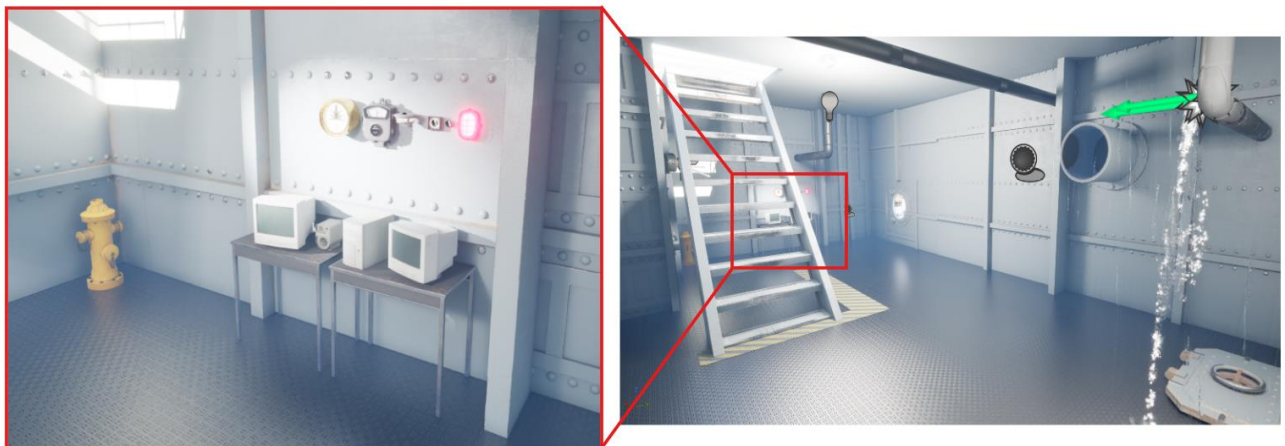


Figura 3-56 Cubierta intermedia edificio "Francisco Troncoso" (Autoría propia)

Finalmente, la cubierta superior cumple la función de simular la cubierta de los barcos que se encuentra a la intemperie y desde donde, en muchos casos, también es necesario el adiestramiento para poder achicar agua desde un nivel superior a través de una escotilla, la cual permite el acceso de la cubierta intermedia hasta esta. Del mismo modo, sobre esta cubierta se representan los sistemas de ventilación propios del escenario como se puede observar en la Figura 3-57.



Figura 3-57 Cubierta superior edificio "Francisco Troncoso" (Autoría propia)

En resumen, el escenario diseñado reproduce de forma simplificada un compartimento naval destinado al control de averías, integrando distintos elementos estructurales y funcionales propios de un buque.

El modelo incorpora estructuras metálicas, sistemas de tuberías, válvulas y bombas, así como diferentes niveles y zonas de acceso que permiten simular situaciones de inundación, intervenciones estructurales y prácticas de achique.

3.3.5.2.4 Escenario NBQR. Estación de descontaminación.

El tercer escenario desarrollado dentro del simulador se corresponde con el ámbito de defensa NRBQ (Nuclear, Radiológica, Biológica y Química), con el diseño de una estación de descontaminación propia de las unidades de la Armada ante la posibilidad de este tipo de ataques en un ambiente de guerra.

En este escenario se recrea un entorno para el entrenamiento específico en procedimientos ante incidentes de contaminación, desde la fase operativa hasta la fase de la toma de decisiones que llevaría a cabo un oficial de la Armada.

Seguidamente, desde el punto de vista del diseño del edificio, se trata de mantener una coherencia con la estética general del escenario, ya que se mantiene una construcción basada en los mismos materiales y con la misma arquitectura, como se puede observar en la Figura 3-58, con gran similitud al edificio contraincendios "Xavier Núñez", tal y como se muestra en la Figura 3-41.

Asimismo, el edificio está construido con paredes de hormigón y con el techo y algunas paredes laterales de ladrillo. También se observa el sistema de ventilación básico de todo el escenario que se desarrolla en el apartado 3.3.5.1.4.

Para continuar, el interior del edificio está basado en uno de los edificios de instrucción reales de los que dispone el CISI de la Escuela de Especialidades "Antonio de Escaño" de Ferrol, donde dispone de una estación de descontaminación para ambiente NRBQ como el desarrollado en el proyecto. La transición entre estas zonas sigue un gradiente de contaminación decreciente, lo que permite establecer un flujo controlado de personal y material desde las áreas más contaminadas hacia las más limpias, minimizando así el riesgo de contaminación cruzada.



Figura 3-58 Estación de descontaminación NRBQ (Autoría propia)

Como se puede observar en la Figura 3-59, se han representado todas las zonas de descontaminación de las que dispone un buque de guerra según la doctrina correspondiente (D-CP-04) [24]: Zona caliente, zona sucia, zona media 1, zona media 2, zona limpia, ACC Material y ACC Personal.



Figura 3-59 Zonas de la estación de descontaminación (Autoría propia)

La transición entre estas zonas sigue el principio de gradiente de contaminación decreciente, es decir, a medida que el personal va cruzando las diferentes zonas, los niveles de contaminación deberían disminuir. Además, se reproduce el modelo real que siguen los buques de la Armada, así como el flujo que seguiría el personal en un barco tras la exposición a agentes contaminantes.

En el interior de este escenario se ha incluido una representación de la cubierta exterior de un buque de guerra, como la de la Figura 3-60, en la que se simula el punto de acceso a la estación de descontaminación desde la cubierta, el área de clasificación inicial y uno de los elementos más importantes de este entorno, la ACC de material y la ACC de personal. Estos dos espacios recrean la separación que se debe realizar entre la descontaminación de personal y de material, con lo que se

permite que el usuario comprenda la transición que existe entre encontrarse en un entorno contaminado y la entrada hacia el interior protegido del buque.

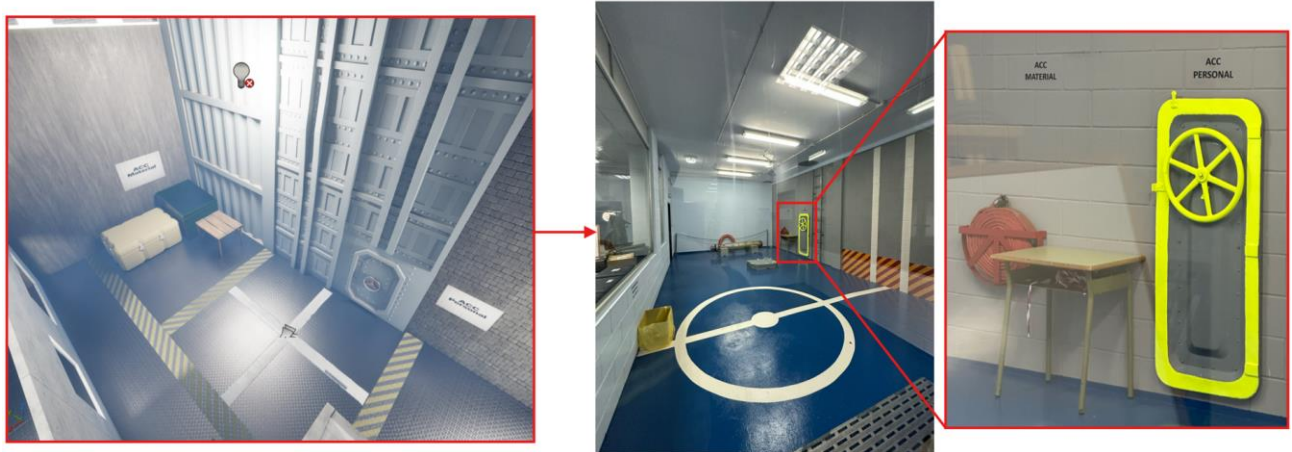


Figura 3-60 ACC Material y ACC Personal (Autoría propia)

En cuanto al diseño estructural del interior de este edificio, se han empleado placas de acero con mamparos metálicos y grandes paneles acristalados desde lo que se puede observar desde el exterior el conjunto de los procedimientos a realizar, así como poder simular el control visual que existiría en un buque real por parte de los puestos de control.

Asimismo, en el interior de la estación de descontaminación se ha incorporado un sistema de señalización específico de este tipo de espacios, a través de carteles identificativos, como se muestra en la Figura 3-61. Con este tipo de elementos gráficos se puede diferenciar de forma clara y visual cada una de las zonas que componen la estación, las cuales han sido indicadas anteriormente, y que cumplen con una fase diferenciada dentro del proceso de descontaminación.



Figura 3-61 Carteles identificativos estación descontaminación (Autoría propia)

Dentro del escenario desarrollado se ha incluido una zona específica destinada a la instrucción básica en defensa NRBQ (Nuclear, Radiológica, Biológica y Química), en la que se representa un escenario donde el usuario puede identificar elementos asociados a riesgos radiológicos y materiales potencialmente peligrosos.

Como se observa en la Figura 3-62, el espacio se ha configurado mediante diferentes actores del entorno industrial, tales como bidones de almacenamiento, barreras de seguridad, conos de señalización y equipos de control, que, junto a otros elementos de señalización, facilitan la identificación visual y sirven de ayuda didáctica, a la hora de responder las preguntas.



Figura 3-62 Zona instrucción en defensa NRBQ (Autoría propia)

Una vez definidos y desarrollados todos los elementos que componen el escenario virtual, resulta necesario abordar la implementación de la lógica de funcionamiento que permite dotar de interactividad al entorno y gestionar el comportamiento de los distintos componentes.

3.4 Programación y código

Para que el escenario virtual diseñado funcione correctamente y de forma coherente, no es suficiente con realizar el modelado gráfico del entorno y de los actores. También se debe aportar al nivel de una lógica interna que dote de comportamientos a cada uno de los elementos que forman parte del escenario, creando eventos y relaciones entre el usuario, a través de su personaje, y el simulador.

3.4.1 Concepto general de la programación

Toda esta implementación ha sido llevada a cabo a través de Blueprints, el sistema de programación visual con el que cuenta Unreal Engine. Se selecciona Unreal Engine 5 frente a Unity debido a su mayor capacidad de renderizado fotorrealista (Lumen) y su integración con sistemas de simulación complejos mediante Blueprints. Cabe destacar que el motor gráfico también permite la programación en C++, como se ve en el apartado 2.5.1.2; sin embargo, se ha optado por escoger la programación visual ya que se estructura de forma más clara y gráfica y, por tanto, facilita el desarrollo y su posterior comprensión.

Los *Blueprints* consisten en un conjunto de nodos que se interconectan entre ellos para representar eventos, funciones, variables y otras estructuras de control, como se verá más adelante. Con este sistema de programación se pueden desarrollar comportamientos complejos sin tener que escribir código textual, pero sin perder precisión ni control sobre la programación.

Asimismo, gracias a este tipo de lenguaje se ofrece la ventaja de poder comprender de manera inmediata cuál es el flujo que sigue el programa cuando este se está ejecutando, permitiendo establecer paradas en los diferentes módulos de programación (a través de *Toggle Punto de Interrupción*) o mostrando visualmente en pantalla con mensajes de texto en qué punto del código se encuentra (a través del nodo *PrintText*). Además, la conexión que existe entre nodos permite ver qué está ocurriendo en cada acción, a través de una animación que se produce cuando se está ejecutando esa parte del código, también las condiciones que deben cumplirse y qué consecuencias va a tener cada acción.

3.4.2 Tipos de Blueprints y características

Dentro del sistema de programación de BP (Blueprints) de Unreal Engine, existen diferentes categorías en función de dónde queramos aplicar la lógica, así como dependiendo del tipo de esta. De manera global, en el presente proyecto se han empleado principalmente dos tipos, cada uno con unas funciones bien diferenciadas en función de dónde queramos implementar la programación dentro de toda la arquitectura del simulador.

- **Level Blueprint:** Este tipo de BP se trata de un tipo de control específico de cada escenario y que solo puede ser empleado dentro del nivel en el que se encuentra. Con este BP se pueden coordinar acciones que afectan a todo el entorno, como son cambios de iluminación al entrar al compartimento, la activación y desactivación de sistemas de partículas como los fuegos, humos y agua, y otros eventos determinados. En el presente proyecto, este tipo ha sido empleado en la mayoría de los casos para accionar las respuestas a los *Triggers* distribuidos por todo el nivel, con el que se producen todas las interacciones entre el usuario y el escenario, como se muestra en la Figura 3-63

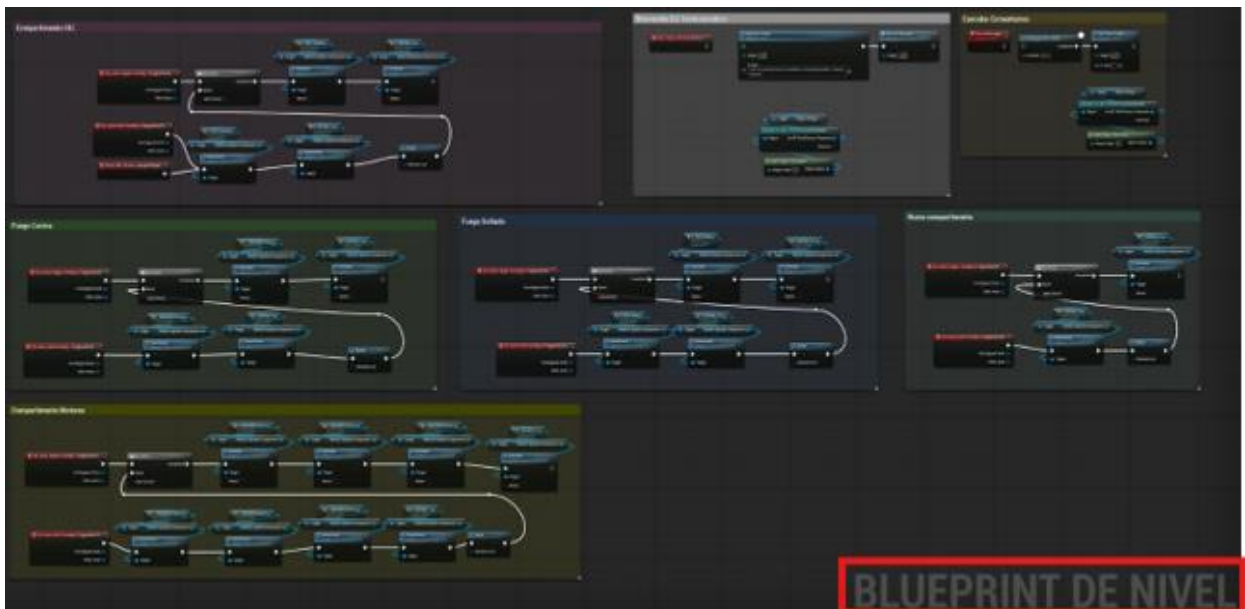


Figura 3-63 Organización del Blueprint de nivel (Autoría propia)

- **Blueprint Class:** Mientras que el Level BP actual solo sirve para un nivel en particular, este otro tipo sirve para diseñar otras entidades de programación reutilizables y que pueden ser aplicadas sobre cualquier *asset* que forme parte del escenario. Con esta herramienta, se permite crear clases personalizadas que se pueden basar en componentes, variables y otros comportamientos, que se desarrollarán a continuación. Con este tipo de BP se define la estructura interna que va a tener un actor en concreto, es decir, los elementos que lo componen, la interacción con otros objetos y las respuestas que genera cuando se producen determinadas acciones. Esto ayuda a que se puedan diseñar y programar elementos dentro del simulador, como los que se observan en la Figura 3-64 que tengan su propia lógica de forma independiente al resto de actores.

De este modo, la combinación de Level Blueprint y Blueprint Class permite estructurar la lógica del simulador de forma jerárquica y eficiente, diferenciando entre la gestión global del escenario y el comportamiento individual de los distintos elementos que lo componen. Esta separación de responsabilidades facilita la escalabilidad del sistema, permitiendo añadir nuevos elementos y funcionalidades sin comprometer la estabilidad ni la organización del código del simulador.

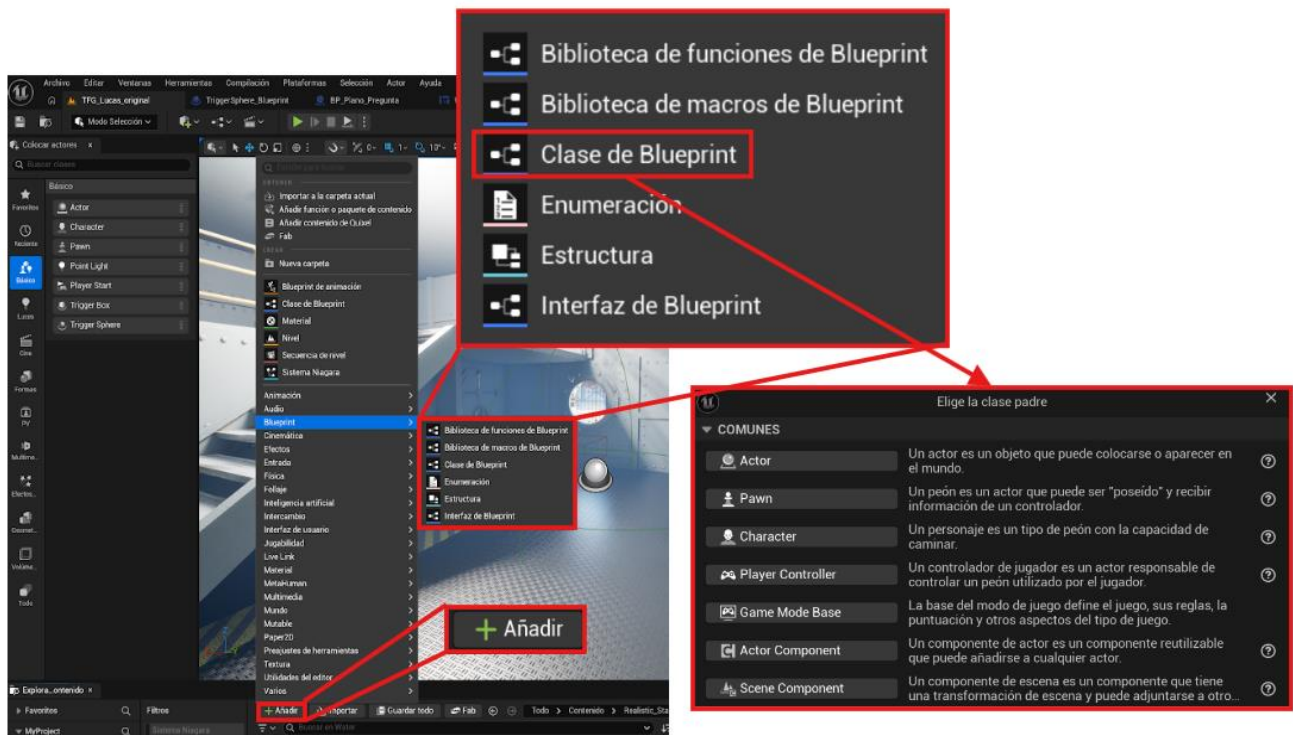


Figura 3-64 Selección clase de BP y sus clases padre (Autoría propia)

Como se muestra en la lista “Elige la clase padre” de la Figura 3-64, dentro de Unreal Engine encontramos numerosos tipos de clases de Blueprints en función del elemento que queramos introducir en el simulador. Sin embargo, pese a ser los mostrados los más comunes, la mayor parte de las clases empleadas en el presente proyecto son las siguientes:

- **Actor:** se emplean para elementos que se pueden colocar directamente sobre el escenario.
- **Character:** como da a entender su nombre, se emplea para elementos relacionados con el usuario o con humanoides, como los que se introducen a través de *MetaHuman*.
- **Scene Component:** este tipo de elemento de escena se puede añadir a otros para estructurar mallas, colisiones y transformaciones.
- **Actor Component:** similar al de escena, se trata de un componente reutilizable que puede añadirse a cualquier otro actor.

En la mayor parte de los casos en los que se ha empleado este tipo de Blueprints, han sido para reutilizar estructuras que ya habían sido creadas anteriormente, sin tener que duplicar el código, pero manteniendo elementos independientes entre ellos, como para el diseño de los Widgets que forman las preguntas para la evaluación del usuario.

- **Widget Blueprint:**

Con este tipo de Blueprint, Unreal Engine proporciona la capacidad de desarrollar interfaces gráficas de usuario dentro de la ejecución de la simulación. A diferencia de los Blueprint que se desarrollan anteriormente, los cuales sirven para actores del mundo 3D, este tipo está diseñado para poder desarrollar elementos visuales que aparezcan en pantalla, pero sin formar parte físicamente del escenario.

Estos sistemas se componen de dos partes, una para el diseño visual del widget donde se encuentran los elementos del lienzo y desde donde se ha realizado el widget que se emplea para las preguntas del presente proyecto, el cual se explica más adelante. La segunda es el *EventGraph*, como se muestra en la Figura 3-65, donde se realiza la programación Blueprint que controla el comportamiento del Widget, y que en el proyecto se ha empleado para establecer bloques de textos como variables, en función de la pregunta que se quiere exponer y del tipo de incidencia que se desarrolla en cada compartimento.



Figura 3-65 Blueprint de widget para realización de preguntas (Autoría propia)

En este caso, se han empleado como componentes integrados dentro del mundo 3D a modo de paneles interactivos, que se activan o se desactivan según las condiciones que se vayan dando en la ejecución de la simulación. Otra opción que también se diseñó como opción inicial fue introducir estos paneles como parte del *Viewport*, a modo de interfaz fija en pantalla y bloqueando el fondo.

3.4.3 Tipos de nodos

Después de definir el entorno de trabajo en Blueprint, es necesario desarrollar los distintos tipos de nodos que componen la lógica de la programación visual en Unreal Engine, donde mediante su conexión, permiten que se pueda construir el comportamiento completo del sistema.

Primeramente, como se muestra en la Figura 3-66, los nodos de evento son el inicio de todos los flujos de ejecución, los cuales actúan como disparadores que se activan cuando ocurre una acción en concreto dentro del entorno de simulación. Mayoritariamente, se emplean los siguientes:

- *Begin Play*: se ejecuta al comenzar la simulación.
- *On Actor Begin Overlap*: se activa cuando un actor entra en contacto con un *Trigger* (volumen de colisión).
- *On Actor End Overlap*: se encarga de detectar cuando el actor sale del volumen de colisión.
- *Event Construct*: se emplea dentro de los *Widget Blueprint* y se ejecuta de forma automática en el momento en el que el *Widget* es creado y añadido al sistema

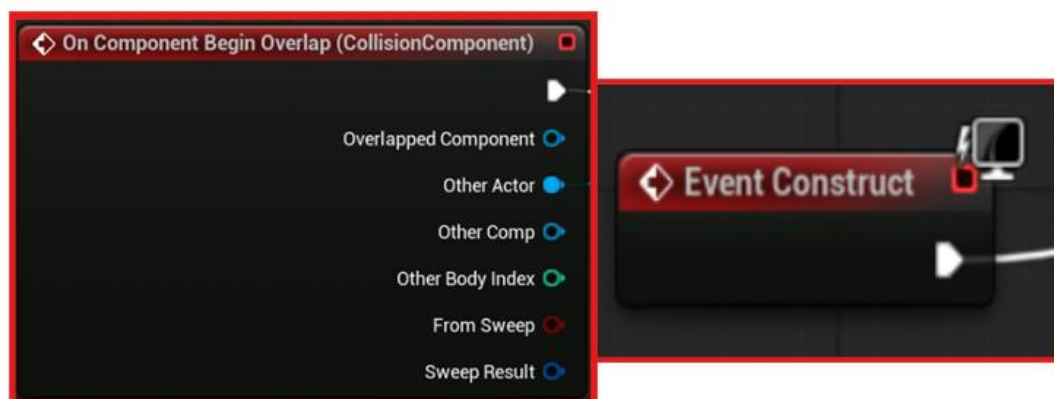


Figura 3-66 Nodos de evento (Autoría propia)

Para el empleo de fuego, agua y humo en todo el escenario, estos dos últimos nodos se emplean para iniciar la secuencia de activación del sistema de partículas, uno al entrar y otro al salir, tal y como se observa en la Figura 3-66. Este tipo de nodo permite que el comportamiento de la simulación sea reactivo y dependa en todo momento de la interacción del usuario con el entorno.

Seguidamente, los nodos de función ejecutan acciones específicas dentro del flujo de la programación, las cuales pueden ser predefinidas por el mismo motor gráfico o hechas por el desarrollador del programa. Como se muestra en la Figura 3-67, se han empleado varios nodos de este tipo:

- *SetText*: se ha empleado para poder activar de forma dinámica el contenido de los bloques de texto de las preguntas del Widget.
- *Activate / Deactivate*: controlan la activación de los sistemas de partículas.
- Con funciones propias, desarrolladas con el objetivo de encapsular una lógica personalizada para un caso en concreto como es el *Mostrar Widget* u *Ocultar Widget* durante la simulación.

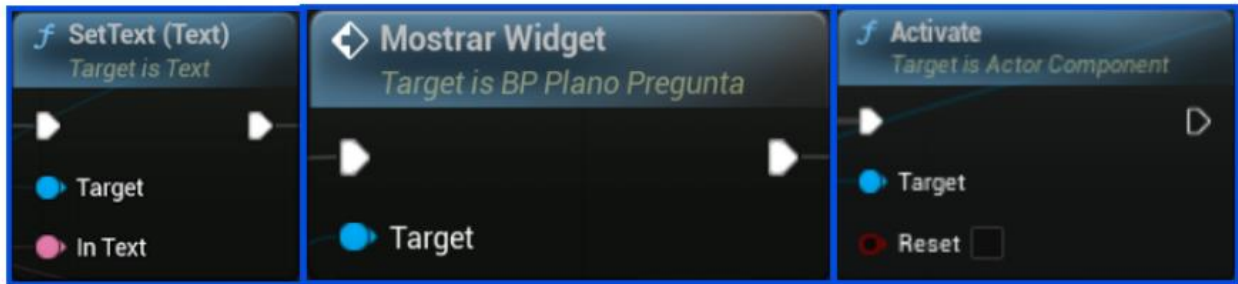


Figura 3-67 Nodos de función (Autoría propia)

Además, uno de los principales elementos del proyecto son los Widget, los cuales han sido creados a través de unos nodos específicos y se ejecutan de forma dinámica por interacción del usuario. Estos nodos empleados se encargan de llevar a cabo la creación virtual del *Widget* (*Create Widget*), así como de añadirlo al *Viewport* (*Add to Viewport*) para que este aparezca durante la simulación.

Existen nodos de control de flujo, los cuales se encargan de ordenar y determinar las condiciones que se deben dar para que se ejecuten determinadas acciones. Como se muestra en la Figura 3-68, los más empleados en este proyecto son:

- *Branch*: se encarga de evaluar una condición booleana y divide el flujo en dos opciones en función de si es verdadera o falsa. Por ejemplo, se ha usado para comprobar si una pregunta ya había sido respondida.
- *Do Once*: empleada para que una secuencia de flujo se ejecute solo una vez hasta que sea reiniciada, es decir, para la actuación de los fuegos, impide que se ejecute de forma continuada mientras el actor se encuentre dentro del volumen de colisión.



Figura 3-68 Nodos de control de flujo (Autoría propia)

Asimismo, se han empleado en numerosas ocasiones nodos de proyección (*Cast*) con los que se consigue que un *Blueprint* que quiera acceder a las variables o las funciones de otro pueda realizarlo desde su propia lógica. Durante el desarrollo del presente proyecto, este tipo de nodo se ha empleado en varias ocasiones para construir una jerarquía entre actores simplificada, sin tener que inicializar variables repetidas de forma continua.

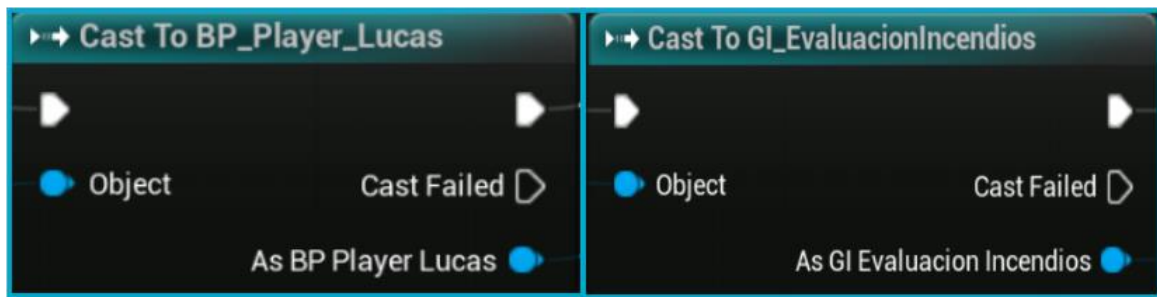


Figura 3-69 Nodo de proyección (Autoría propia)

En la Figura 3-69, se muestran dos ejemplos del proyecto, en el cual se llama al personaje del juego y a la instancia global del mismo, respectivamente, para intercambiar información entre distintos *Blueprints*.

3.4.4 Variables en Blueprints

Con las variables se constituyen uno de los elementos más importantes de la programación con *Blueprints*, ya que se emplean para poder almacenar la información para que se ejecute la lógica correctamente. Cada tipo de variable sirve como un contenedor de datos cuyo valor puede ser modificado continuamente, comprarse en nodos de control o bien consultarse para poder configurar una ejecución correcta de la simulación.

En Unreal Engine, y como se muestra en la Figura 3-70, existen numerosos tipos distintos de variables, las cuales se definen indicando la conveniencia en cada caso y de forma opcional se les puede dar un valor inicial, que se modificará o se mantendrá constante en función de la lógica que se busque en cada caso.

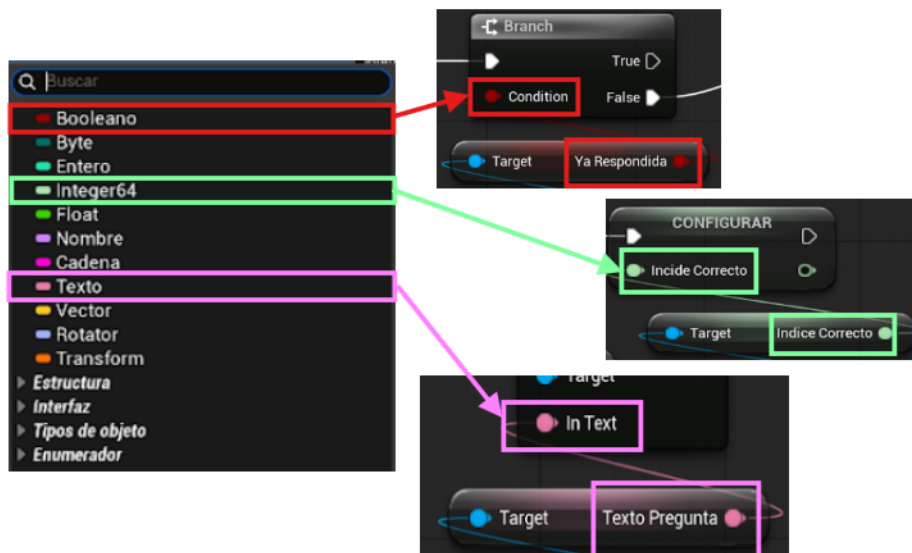


Figura 3-70 Tipos de variables más empleadas (Autoría propia)

En la Figura 3-70, se muestran los tipos de variables que se han empleado mayoritariamente durante la programación del presente proyecto:

- *Boolean* (*bool*): almacena valores lógicos, es decir, verdadero o falso. Por ejemplo, se usan para controlar los estados de los actores, como con la variable “*YaRespondida*” para saber si una pregunta ya ha sido respondida.
- *Integer64*: permite almacenar números enteros que son de gran magnitud, aunque en el proyecto se ha empleado para simples números enteros de pequeño valor, como, por ejemplo,

para poder definir cuál es la respuesta correcta en cada una de las preguntas que se representan a través de los *Widget* por todo el escenario, a través de la variable “*Índice Correcto*”.

- *Texto*: se encarga de almacenar contenido en forma de texto con el objetivo de poder mostrarse en pantalla. Sobre todo, se emplea para poder desarrollar y ejecutar las interfaces gráficas que se disponen por el nivel.

Finalmente, como se muestra en la Figura 3-71, dentro del gráfico de *Blueprint*, las variables pueden consultarse mediante unos nodos de lectura, llamados *Get*, o pueden ser modificadas mediante nodos de asignación, llamados *Set* o *Configurar*.



Figura 3-71 Nodos *Set* y *Get* de variables (Autoría propia)

3.4.4.1 Variables tipo Map

En el desarrollo del sistema de puntuación que se desarrolla en el apartado 3.4.7, se ha empleado una variable de tipo Map (diccionario) dentro de Blueprints. Este tipo de variables permiten almacenar pares de datos estructurados como clave-valor, donde:

- La clave identifica un elemento único.
- El valor corresponde al dato asociado a esa clave.

Gracias al empleo de Map, se puede acceder directamente a un valor en concreto sin tener la necesidad de recorrer todos los elementos, ya que guarda en la biblioteca este par clave-valor, lo que aporta una mayor organización y eficiencia del sistema.

En este proyecto se usa la variable *MapaPuntuaciones* para conseguir que la puntuación de cada uno de los edificios sea independiente y, por tanto, que se pueda ejecutar la evaluación separada de cada uno de los aspectos que forman el escenario. Esta variable emplea como clave el identificador del edificio (*IDEdificioActual*) y como valor la puntuación obtenida en dicho edificio.

Como se muestra en la Figura 3-72, el funcionamiento básico se basa en tres nodos principales. El primero es *FIND*, con el que se busca qué valor está asociado a una clave, el segundo es *ADD*, para poder añadir o actualizar un par clave-valor en el mapa, y el tercero es *CONTAINS*, con el que se puede gestionar la posible existencia de una clave con su respectivo valor.



Figura 3-72 Nodos tipo Map (Autoría propia)

3.4.5 Configuración del personaje

El personaje controlado por el usuario que se emplea en el simulador se basa en el modelo de *Third Person Character*, explicado en el apartado 3.3.1.1, el cual viene incluido por defecto en Unreal Engine. A su vez, el personaje ha sido adquirido a través de MetaHuman y modelado con bibliotecas de ropa mediante Fab, como se puede observar en el apartado 3.3.3.

Este personaje incorpora de forma predefinida una serie de funcionalidades estándar relacionadas con el control, el movimiento del personaje y el movimiento de la cámara, las cuales han sido empleadas como base para el desarrollo del proyecto.

Como se muestra en la Figura 3-73, entre estas características incluidas en la lógica, se encuentran:

- Sistema de movimiento, que permite el desplazamiento en ejes X e Y.
- Sistema de salto para gestionar el movimiento vertical del personaje, con su propia gestión de inicio y de finalización.
- Control de la cámara orbital, mediante lo que se ha permitido adaptar la rotación al control del jugador.
- Configuración de entradas a través de *Enhanced Input*, que permite leer las acciones como movimiento, salto y rotación.

Ya que esta lógica viene integrada en el Blueprint del personaje y es parte de la plantilla de tercera persona, no ha sido necesario desarrollar desde cero estas funcionalidades básicas, sino adaptarlas a los objetivos de la simulación y complementarlas con los árboles de Blueprint que se desarrollan a continuación.



Figura 3-73 Lógica predefinida *Third Person Character* (Autoría propia)

Seguidamente, cabe destacar que la lógica mostrada en la Figura 3-101, se encuentra dentro del Blueprint del *Player Character*, formando parte de su sistema de control. Esta explicación está integrada en el apartado 3.4.7.4, ya que se trata de una parte indispensable de la configuración general del sistema de *Widgets* que se emplea en la simulación. Por tanto, la gestión de entradas por el teclado (teclas 1, 2 y 3) y el empleo de la función *Responder* no se realiza desde el mismo *Widget*, sino directamente desde el *Blueprint* del jugador, siendo el intermediario entre la entrada del usuario y el sistema de evaluación.

3.4.5.1 Equipamiento del ERA en el personaje

Para conseguir el equipamiento del ERA sobre el personaje de forma dinámica durante la ejecución del simulador, se ha comenzado empleando el sistema *Action Mapping* del motor gráfico. Este sistema permite asociar diferentes dispositivos de entrada, como teclado o mando de control, a una misma acción dentro del simulador. En este caso, como se muestra en la Figura 3-86, se ha denominado “Equipar ERA”, la cual se activa mediante la tecla B o mediante el botón B del mando, permitiendo que esta acción sea compatible con cualquier dispositivo de control que se esté empleando.

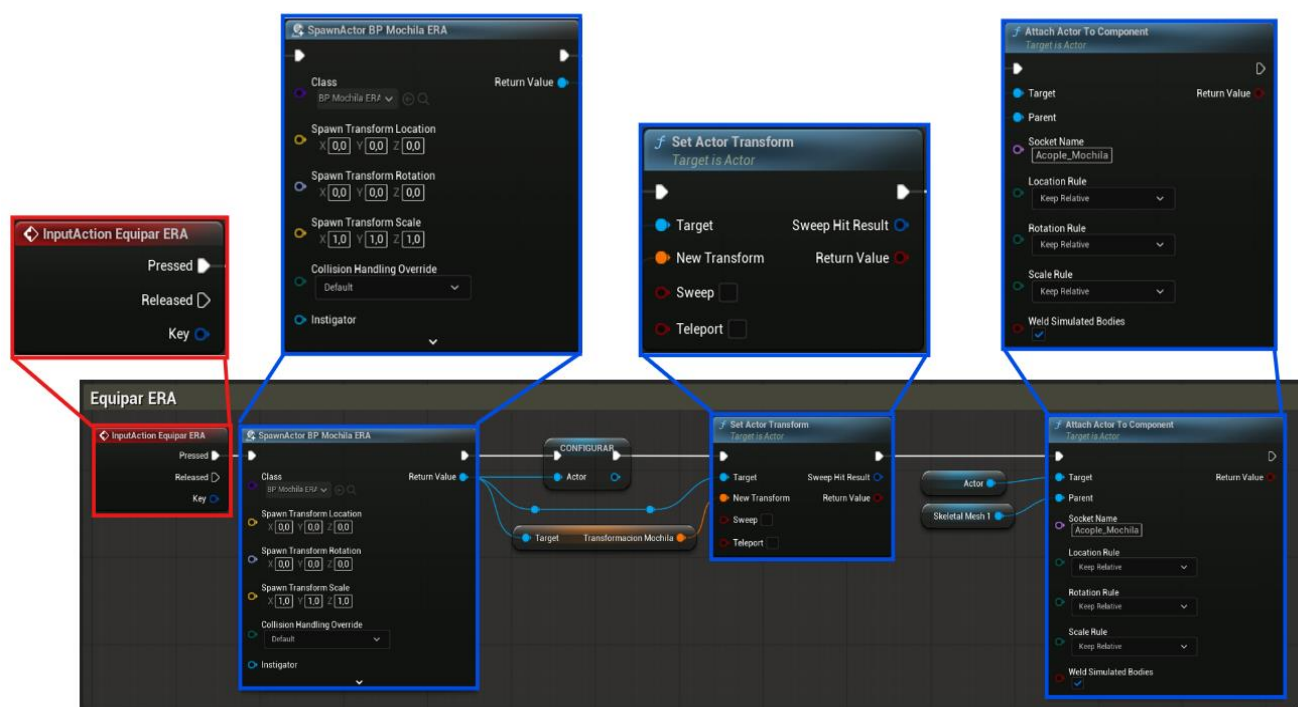


Figura 3-74 Función Equipar ERA (Autoría propia)

Para continuar, cuando se ha detectado la entrada del usuario, se ejecuta una serie de acciones para poder equipar el personaje con el equipo de respiración autónoma, empleando un Blueprint específico del elemento, que representa el modelo tridimensional de este, denominado *BP_Mochila_ERA*.

Se sigue con la creación del actor correspondiente al ERA, mediante la función *Spawn Actor* y a su vez se configura la transformación inicial del elemento, definiendo su posición, rotación y escala dentro del entorno. Por último, se acopla el ERA al esqueleto del personaje, utilizando un *Socket* que se ha definido previamente en la malla esquelética del MetaHuman. Este acople se realiza mediante la función *Attach Actor to Component*, que permite que el ERA quede fijado al personaje y se mueva sincronizadamente con sus animaciones.

Para poder garantizar que el ERA se posicione sobre el personaje de forma correcta, se ha configurado una transformación específica dentro del *Construction Script* del Blueprint del ERA, como se muestra en la Figura 3-75. Este tipo de función se ejecuta automáticamente cuando el actor se crea dentro del entorno de Unreal Engine. En este caso, se configura la transformación que tendrá la mochila cuando esta se acople al personaje, en función de los tres parámetros principales de localización, rotación y escala.

De este modo, se consigue una integración dinámica del equipamiento en el personaje, permitiendo modificar su configuración en tiempo real durante la ejecución de la simulación sin necesidad de recargar el entorno. Este enfoque no solo mejora la interacción del usuario con el sistema, sino que también garantiza una correcta sincronización entre el equipamiento y las animaciones del personaje, evitando inconsistencias en su posicionamiento o comportamiento.

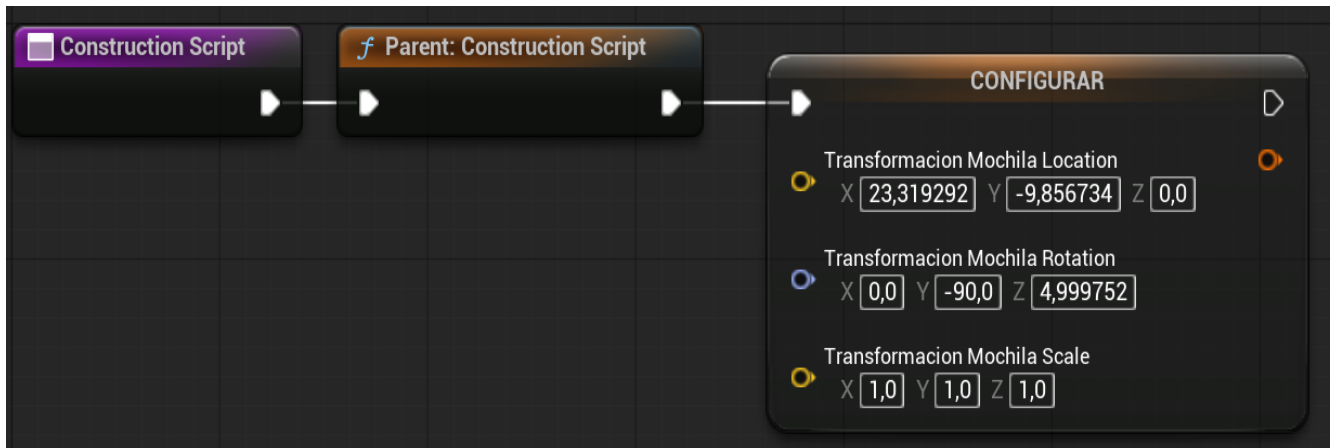


Figura 3-75 Configuración transformación del ERA (Autoría propia)

Gracias a esta implementación, el personaje puede equiparse con el equipo respiratorio durante la simulación cuando el usuario se encuentra en la zona correspondiente del escenario. Con esta función, se permite aumentar el realismo del simulador y permite representar de forma más fiel el equipamiento que se usa en operaciones de lucha contra incendios.

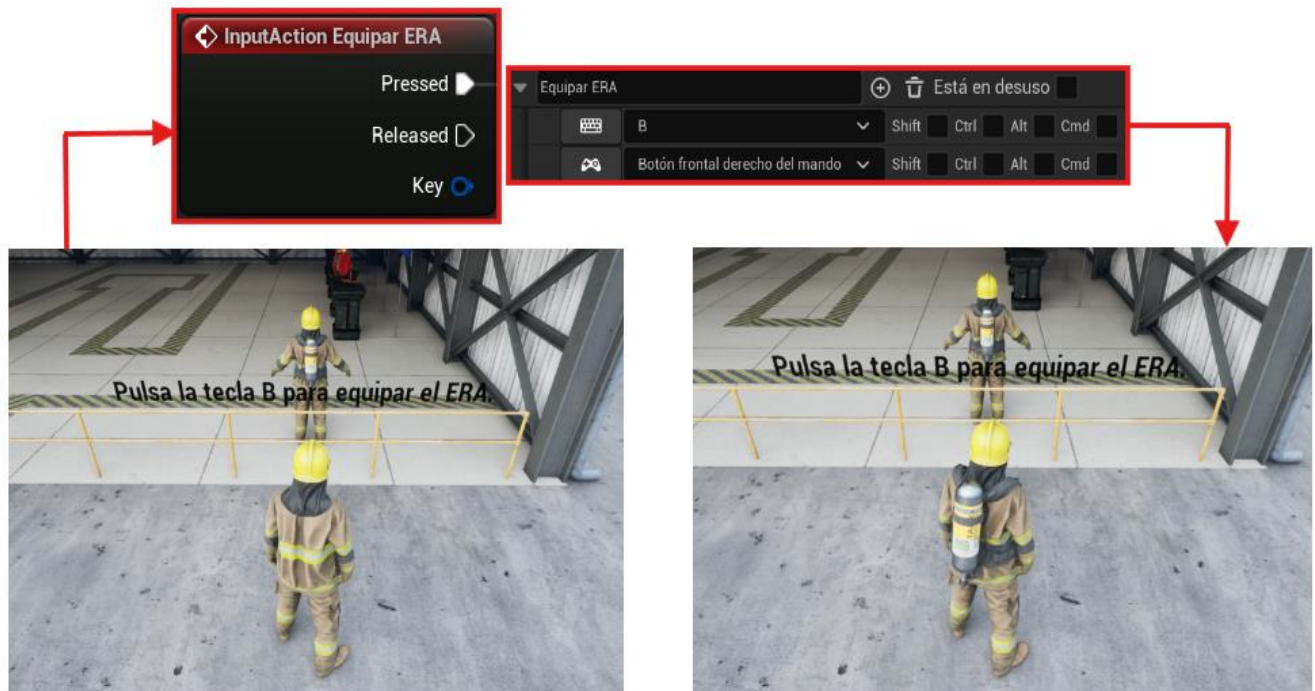


Figura 3-76 Equipar ERA en simulación (Autoría propia)

3.4.5.2 Inicialización del sistema de puntuación

El sistema de puntuación del simulador se inicializa desde el *Blueprint* del personaje al comienzo de la simulación mediante el evento *BeginPlay*, tal y como se muestra en la Figura 3-77. En este momento se crea el *Widget* de puntuación (HUD) que será utilizado para mostrar al usuario la información relacionada con su progreso durante el recorrido por el escenario.

Cuando inicia la simulación, se añade a la interfaz con el nodo *AddToViewport*, lo que permite que esté visible durante toda la ejecución de la simulación. Sin embargo, empleando la función *SetVisibility*, se puede gestionar de forma dinámica su visibilidad para poder ocultarlo cuando el jugador no se encuentre dentro de ningún edificio, y mostrarlo cuando se encuentre dentro de uno de los espacios en los que es necesario mostrar la puntuación al usuario.

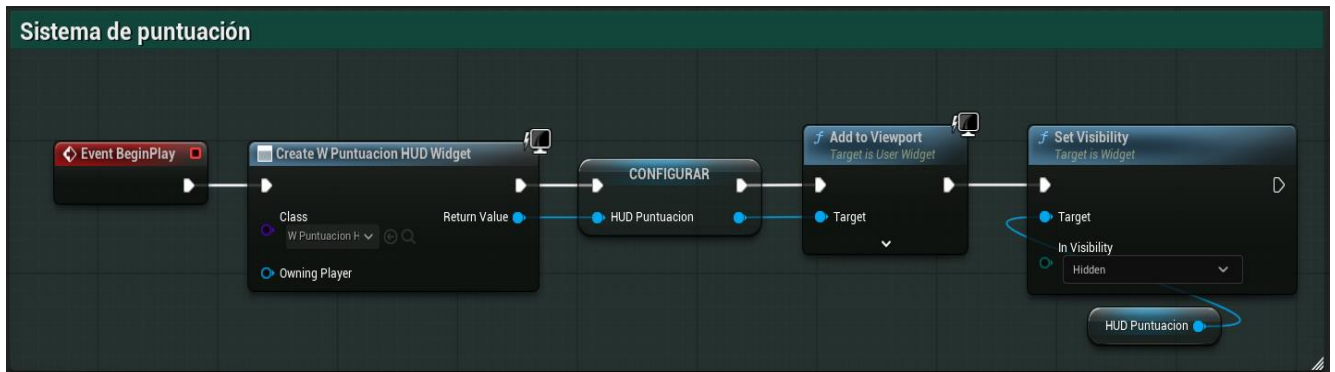


Figura 3-77 Inicialización del sistema de puntuación (Autoría propia)

Cabe destacar que la explicación de este sistema de puntuación se detalla en el apartado 3.4.7.5; sin embargo, toda esta lógica se inicia a partir del personaje. Además, en la Figura 4-2, se muestra el resultado de la interfaz generada a partir de esta lógica de *Blueprints*.

3.4.5.3 Equipamiento del traje NRBQ

Tal y como se ha explicado en el apartado 3.3.3.3 de diseño del personaje, en el área destinada al adiestramiento en defensa NRBQ se emplea un modelo específico del personaje equipado con un traje de protección NRBQ. Para conseguir que este cambio se realice de forma automática durante la simulación, se ha implementado una lógica basada en volúmenes de colisión.

Como se muestra en la Figura 3-78, el sistema detecta la entrada del jugador en la zona correspondiente mediante el evento *OnComponentBeginOverlap* asociado a un volumen de colisión situado en el acceso al área NRBQ. Cuando el personaje entra en esta zona, el *Blueprint* identifica al jugador mediante un *Cast* al personaje, lo que permite acceder a sus componentes y modificar su apariencia.

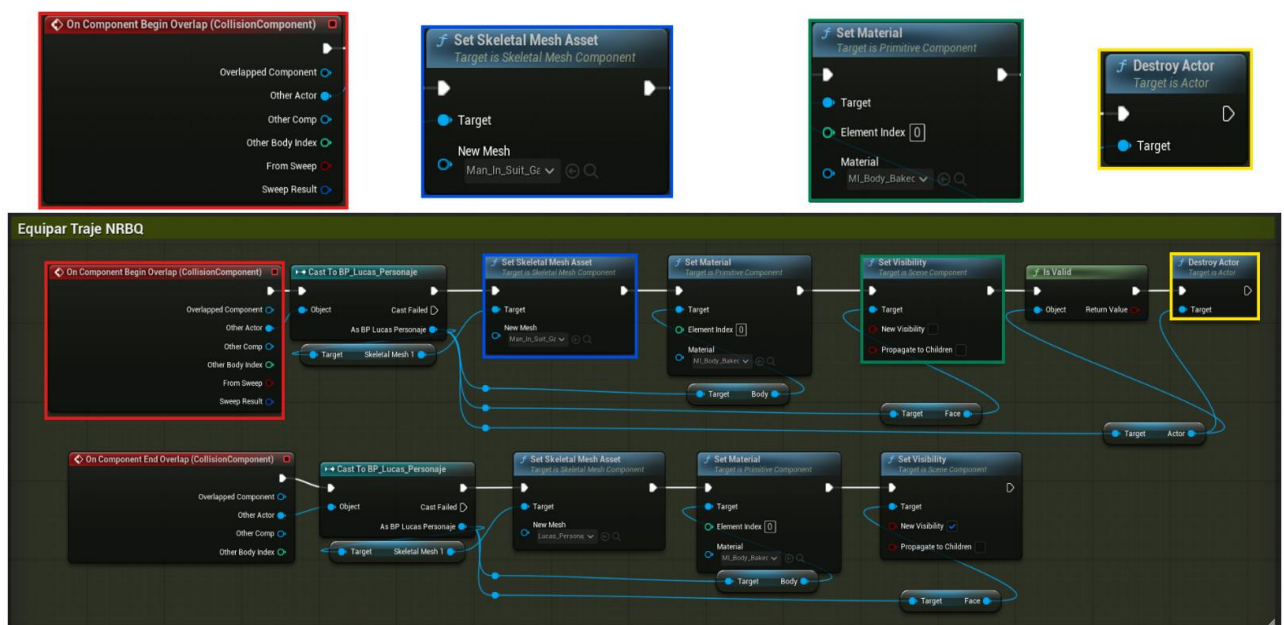


Figura 3-78 Equipar traje NRBQ (Autoría propia)

Posteriormente, se ejecuta el nodo *SetSkeletalMeshAsset*, mediante el cual se sustituye la malla esquelética original del personaje por el modelo del traje de protección NRBQ. Además, se actualizan los materiales del modelo para asegurar que el traje se represente correctamente durante la simulación. De manera inversa, cuando el jugador abandona el área NRBQ, el sistema detecta el evento *OnComponentEndOverlap*, restaurando el modelo original del personaje.

3.4.6 Configuración de los edificios

Para la configuración general de los edificios que se han diseñado en el escenario, se ha realizado una lógica global dentro de un *TriggerBox*, el cual encierra a cada uno de estos espacios.

En primer lugar, cuando el jugador activa este volumen de colisión, se muestra en pantalla un *Widget* de bienvenida al edificio correspondiente, como se puede observar en la Figura 3-79. Este mensaje tiene como objetivo indicar al usuario el edificio en el que se encuentra, permaneciendo visible durante aproximadamente tres segundos, tras los cuales desaparece automáticamente.

Estos mensajes aparecen en la interfaz del usuario, en la parte inferior izquierda sobre un rectángulo gris claro, diseñado a través de un *Widget Blueprint*, tal y como se muestra en la Figura 4-6, del apartado 4.3.3.1.

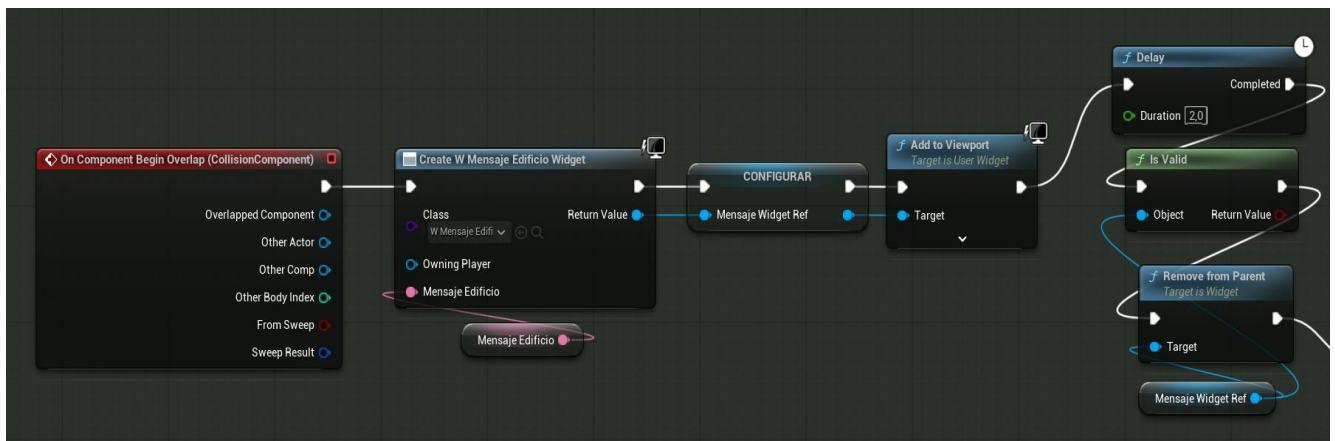


Figura 3-79 Creación de mensaje de bienvenida al edificio (Autoría propia)

A continuación, se activa el *Widget* de puntuación, que muestra en pantalla el progreso del usuario dentro del edificio, indicando la puntuación obtenida respecto al total de preguntas disponibles. Esta acción solo visibiliza la interfaz, ya que esta ya ha sido creada anteriormente con el inicio de la simulación a través de la lógica del personaje, como se redacta en el apartado 3.4.5.2. Durante todo este periodo en el que esta lógica está activa, el personaje desarrolla la prueba correspondiente dentro del edificio, respondiendo a las preguntas que se activan en cada uno de los compartimentos.

Cabe destacar que en el caso de que el jugador abandone el edificio sin haber finalizado la prueba (no haber respondido las 10 preguntas), la puntuación quedaría almacenada gracias al empleo de variables tipo *Map*, las cuales funcionan como una biblioteca dentro del sistema. Por tanto, el sistema contempla la posibilidad de que sea la primera vez que el jugador accede a un edificio. En este caso, si el identificador del edificio no existe todavía dentro de la estructura de datos, el sistema inicializa automáticamente las variables asociadas a dicho edificio.

Como se acaba de explicar, la lógica mostrada en la Figura 3-80, comprueba el estado del edificio al que accede el jugador. Primero se obtiene una referencia al personaje y al *GameInstance*, donde se almacenan los datos de la evaluación. A continuación, se compara el identificador del edificio actual con el registrado previamente. Si son distintos, se ejecuta la función *Configurar*, que inicializa las variables asociadas al edificio, como el número de preguntas respondidas. De esta forma se gestiona correctamente el progreso del jugador dentro de cada edificio.

En conjunto, esta configuración permite gestionar de forma eficiente la interacción del usuario con los distintos edificios del escenario, centralizando la lógica de acceso y control mediante el uso de volúmenes de colisión y elementos de interfaz. Este enfoque facilita la organización del sistema, diferenciando claramente entre la detección de eventos, la gestión del estado del usuario y la visualización de la información, lo que contribuye a una arquitectura más estructurada y mantenible.

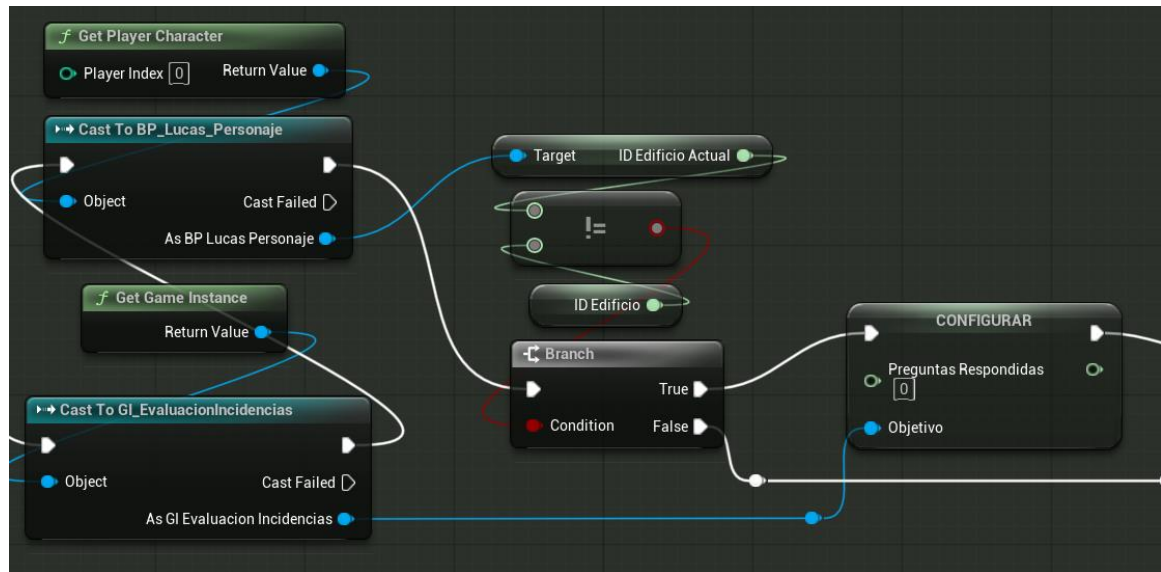


Figura 3-80 Inicialización de variables (Autoría propia)

Seguidamente, la lógica de la Figura 3-81, gestiona el registro de puntuaciones de cada edificio dentro del *MapaPuntuaciones*. Tras ejecutar la función *Configurar*, el sistema comprueba mediante el nodo *Contains* si el identificador del edificio ya existe dentro del mapa. Si no existe, se añade una nueva entrada utilizando el nodo *Add*, inicializando su valor correspondiente. De este modo, el sistema garantiza que cada edificio disponga de un registro propio dentro de la estructura de datos utilizada para almacenar el progreso del jugador.

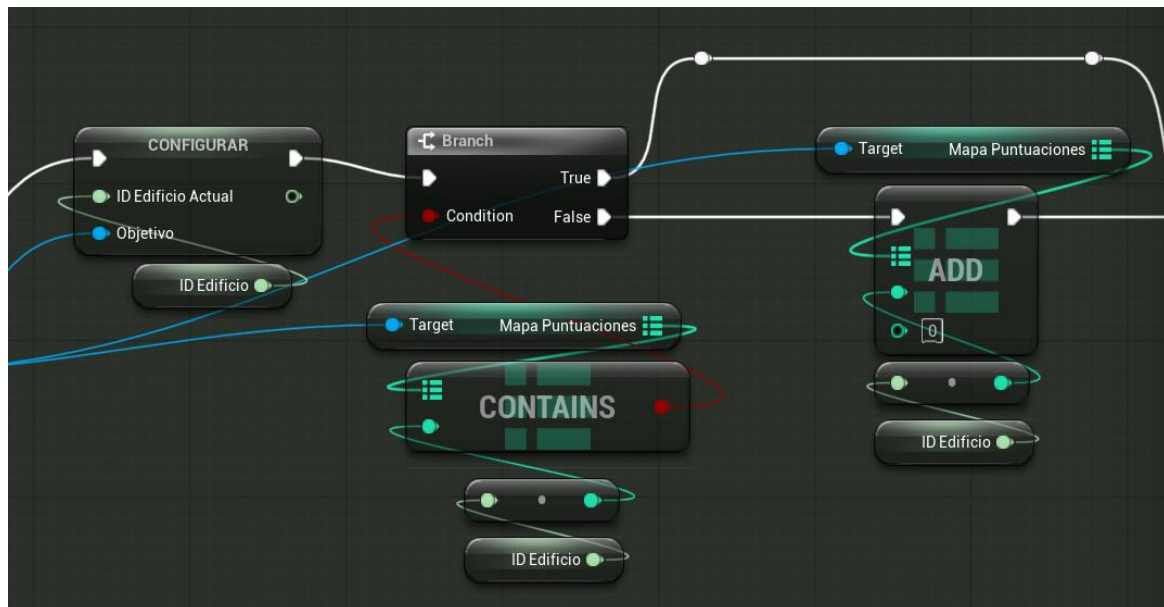


Figura 3-81 Registro de puntuaciones (Autoría propia)

Por último, para controlar la visualización del HUD de puntuación asociado a cada edificio, se ha desarrollado la lógica de la Figura 3-82. En primer lugar, se obtiene una referencia al personaje del jugador mediante *GetPlayerCharacter* y se realiza un *Cast* al *Blueprint* del personaje (*BP_Lucas_Personaje*). A continuación, se verifica que el widget de puntuación sea válido mediante el nodo *IsValid*. Si la referencia es correcta, el sistema establece su visibilidad utilizando *SetVisibility* y ejecuta la función *ActualizarPuntuación*, explicada en el apartado 3.4.7.5, mostrando en pantalla el progreso del jugador. De esta manera, el HUD de puntuación solo se activa cuando el jugador se encuentra dentro del edificio correspondiente, evitando que la puntuación se muestre en el resto del escenario.

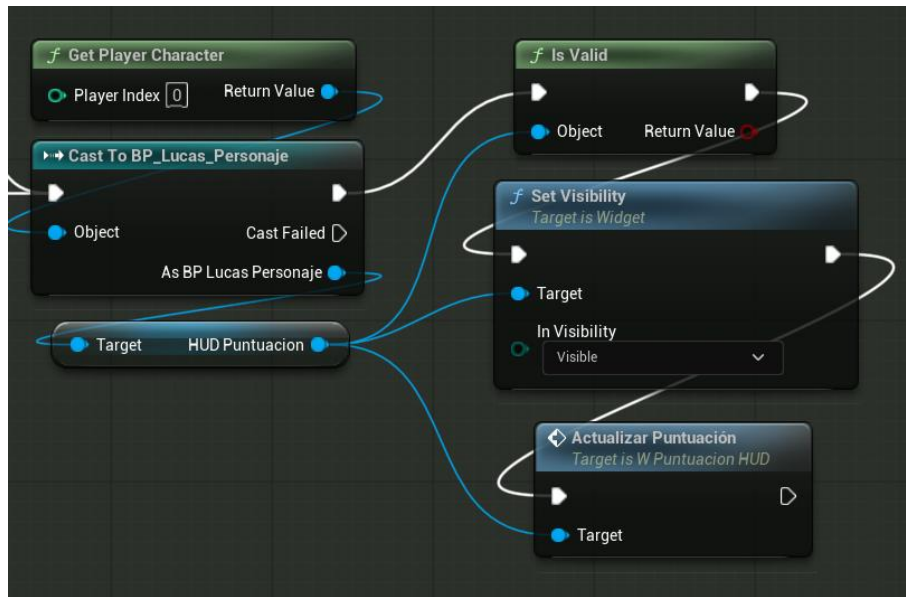


Figura 3-82 Activación *Widget* puntuación (Autoría propia)

A la hora de abandonar el escenario, la lógica se encarga de hacer desaparecer tanto el sistema de puntuación general del escenario, así como el *Widget* de finalización del edificio, en el caso de que este se haya activado al acabar la prueba en el edificio correspondiente, tal y como se muestra en la Figura 3-83.

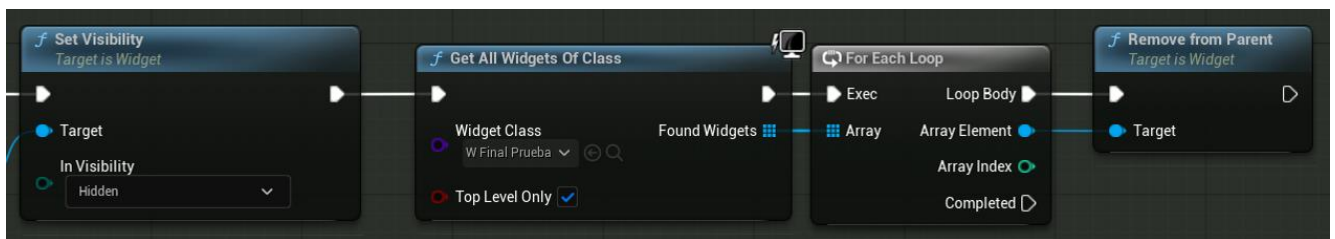


Figura 3-83 Desactivación de los *Widgets* del edificio (Autoría propia)

Para finalizar, la lógica general de este apartado, debido a su gran magnitud y complejidad, se ha dividido en varias figuras para facilitar su comprensión.

3.4.6.1 Programación zona inicial

En la zona inicial del escenario se han empleado varios Blueprints e interfaces de usuario para poder proporcionar al usuario una introducción al funcionamiento del simulador antes de comenzar el recorrido por las distintas áreas de entrenamiento.

En primer lugar, se ha diseñado un *Widget* de texto inicial que muestra un mensaje de bienvenida al escenario de formación en Seguridad Interior. Este texto explica cuál es el objetivo del simulador y describe el recorrido que realizará el usuario a lo largo de las diferentes zonas de entrenamiento.

En el segundo de estos *Widget*, se explica al usuario en qué consiste el sistema de puntuación del escenario, detallando la existencia de cuatro edificios independientes, en los que existen 10 preguntas de múltiple elección en cada uno de ellos.

El contenido del *Widget* se gestiona a través de una función de *Blueprint* que permite actualizar dinámicamente el texto mostrado en pantalla, permitiendo que se pueda modificar el contenido sin necesidad de modificar la lógica del sistema. Además, este mensaje se controla mediante un volumen de colisión (*Trigger*), mostrado en la Figura 3-84, situado a lo largo del recorrido marcado dentro de la zona inicial. Este modelo de activación de la interfaz sigue el mismo principio empleado en el resto de activaciones del escenario, tanto para la visualización de *Widgets* como para la generación de

incidencias, utilizando el evento *OnComponentBeginOverlap* para detectar la entrada del jugador en las zonas definidas.



Figura 3-84 Interfaz de usuario en zona inicial (Autoría propia)

Cada vez que el jugador entra dentro del volumen de colisión, se ejecuta la función *MostrarWidget*, explicada en el apartado 3.4.7.3.1, la cual activa a su vez *ActualizarTexto*, que permite la actualización dinámica del *Widget*.

Además de los mensajes de bienvenida y de instrucciones, se han empleado otros *Widgets* informativos relacionados con zonas concretas del escenario, en los que se explican los contenidos de contraincendios como las clases de fuegos y los medios de extinción que se pueden emplear en los edificios.

Finalmente, el Blueprint mostrado en la Figura 3-85, se encarga de activar los distintos efectos de fuego presentes en la zona de instrucción dedicada a las clases de incendio. Su funcionamiento sigue la misma lógica que la descrita en el apartado correspondiente al edificio de contraincendios (apartado 3.4.6.2.1), basada en la detección de la entrada del jugador en un volumen de colisión (*Trigger*).

Zona inicial escenario "Lucas Roca"



Figura 3-85 Blueprint generales de la zona inicial (Autoría propia)

3.4.6.2 Programación Contraincendios

La programación del edificio contraincendios se ha estructurado con Blueprints independientes para cada uno de los compartimentos, organizando la lógica en bloques bien diferenciados (empleando cajas de comentarios de colores en la interfaz gráfica) en función del tipo de incidencia. Con esta estructura se facilita la lectura del código y permite modificar los actores sin tener que afectar a toda la lógica, alterando el funcionamiento global del simulador.

Uno de los aspectos fundamentales de este edificio es la activación y desactivación de la dinámica del fuego, mediante los sistemas de partículas, en función de la presencia del usuario dentro del área afectada. Como se introduce en el apartado 3.4.3, se ha empleado un sistema basado en volúmenes de colisión, es decir, con el empleo de un *Trigger* y los nodos de evento, el sistema es capaz de detectar la presencia del personaje en la zona y, por consiguiente, activar los actores que se deseen dentro de ese mismo espacio.

Asimismo, dentro de este edificio se encuentran varias lógicas similares para poder simular esta activación del fuego desarrollada anteriormente, y que se muestran en la Figura 3-86, como son: fuego cocina, fuego sollado, humo compartimento, compartimentos motores...



Figura 3-86 Blueprint generales de edificios contraincendios (Autoría propia)

Seguidamente, se va a desarrollar una de las lógicas empleadas para la activación del fuego en el sollado del edificio contraincendios “Xavier Núñez”.

3.4.6.2.1 Activar fuego y humo

En primer lugar, tiene lugar la detección mediante el volumen de colisión, ya que en cada compartimento se ha colocado un *TriggerBox* para que a través del evento *OnActorBeginOverlap* y *OnActorEndOverlap* se pueda detectar la entrada y salida del personaje y se genere el evento correspondiente. Este tipo de nodo supone el punto de inicio del flujo, como se muestra en la Figura 3-87 de color rojo.

Para continuar, para evitar que el sistema se active de forma repetida cuando el jugador está dentro del volumen, se ha empleado el nodo *DoOnce*, con el que se puede garantizar que esta acción solo se ejecute una vez que se entre en la zona y ninguna más. Con el pin *Reset* se puede reiniciar el sistema para que cuando el jugador abandone el área, el volumen pueda activarse de nuevo si desea volver.

En tercer lugar, el fuego y el humo empleado están implementados dentro del *ParticleSystemComponents* (*Niagara*, explicado en el apartado 3.3.5.1.6) de color rosa en la Figura 3-87, los cuales se ejecutan con la función *Activate*, de color azul. Después de esto, el jugador, después de entrar al volumen de colisión, habrá activado el sistema de llamas y el de humo, dando comienzo a la simulación de la incidencia.

Finalmente, con la salida del actor del volumen de colisión se desactivaría la simulación del incendio, ejecutándose *Deactivate* y *OnActorEndOverlap*, y reiniciando el sistema en caso de que el jugador decida volver a entrar, con el nodo *Reset*, de color azul en la Figura 3-87.

Estas configuraciones generales permiten establecer una base común para la activación de eventos dentro de los edificios, estructurando la lógica del sistema de forma organizada y reutilizable. A partir de esta base, se desarrollan implementaciones específicas adaptadas a cada tipo de incidencia, como es el caso de la activación de fuego y generación de humo en compartimentos concretos.

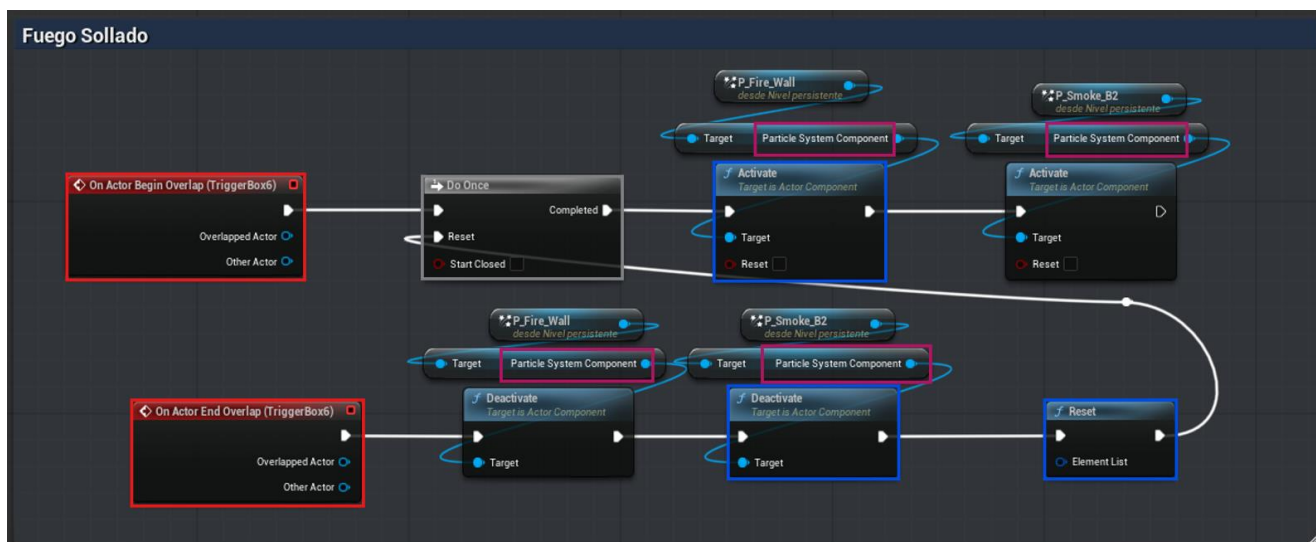


Figura 3-87 Blueprints del fuego en el sollado (Autoría propia)

3.4.6.3 Programación Control de Averías

La configuración de los Blueprints del edificio de Control de Averías “Francisco Troncoso” sigue una estructura similar a la empleada en el edificio de contraincendios, donde se emplean los mismos árboles de programación basados en eventos activados mediante volúmenes de colisión (*Trigger*) y sistemas de activación de actores.

Como se observa en la Figura 3-88, la lógica se ha organizado en distintos bloques independientes dentro del *Blueprint* general del nivel. Entre estos, se incluyen fugas en tuberías, averías en el CIC (Centro de Información de Combate) o incidencias en pañoles.

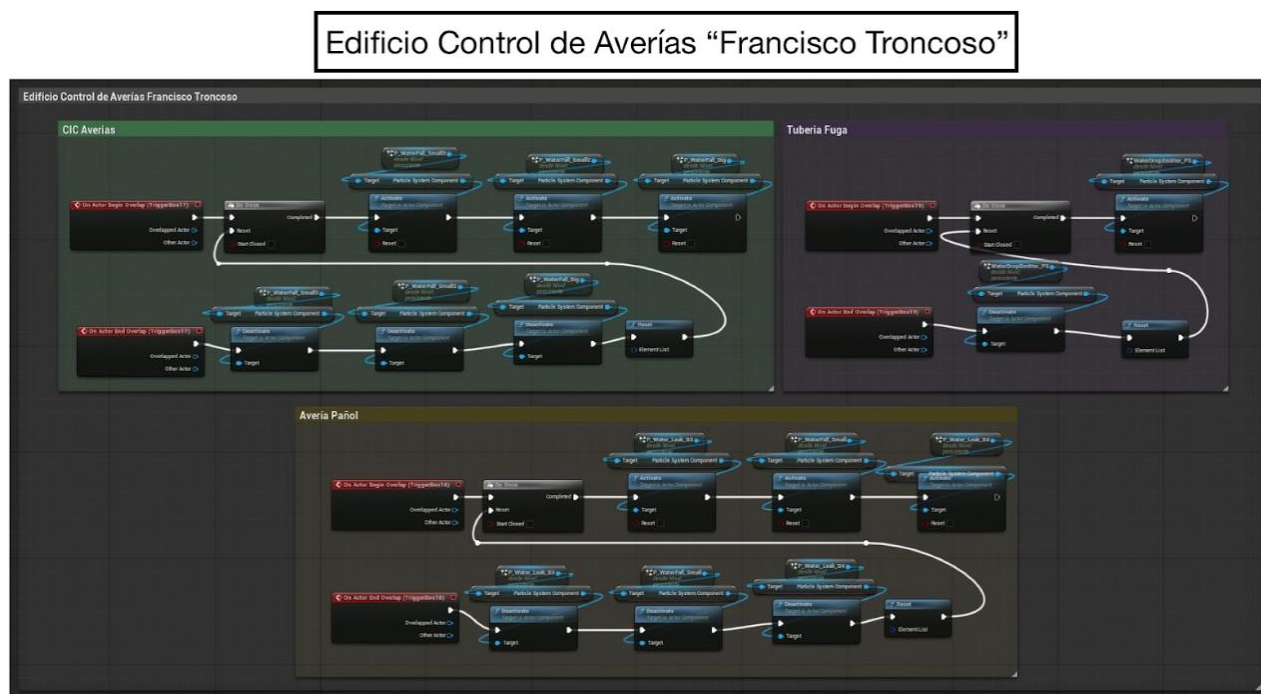


Figura 3-88 Blueprint general edificio control de averías (Autoría propia)

El funcionamiento general es similar al explicado en el apartado 3.4.6.2.1, en el que la entrada del jugador en un volumen de colisión provoca la ejecución de la lógica asociada a la incidencia. Esta lógica activa sistemas de partículas y actores del escenario, permitiendo representar visualmente la avería

correspondiente. A su vez, cuando el jugador abandona el volumen, se desactivan los efectos y se reinicia el sistema.

3.4.6.4 Programación NRBQ

La programación del edificio correspondiente a la zona de defensa NRBQ sigue la misma lógica de funcionamiento que la de los otros edificios del escenario. En este caso, los Blueprints se activan también mediante volúmenes de colisión (*Trigger*) que detectan la entrada del personaje en la zona mediante el evento *OnActorBeginOverlap*, activando los sistemas de partículas que representan diferentes acciones. Del mismo modo, al abandonar el área se ejecuta el evento *OnActorEndOverlap*, que desactiva los efectos y reinicia el sistema para permitir su activación en futuras interacciones. Esta lógica se puede observar en la Figura 3-89.

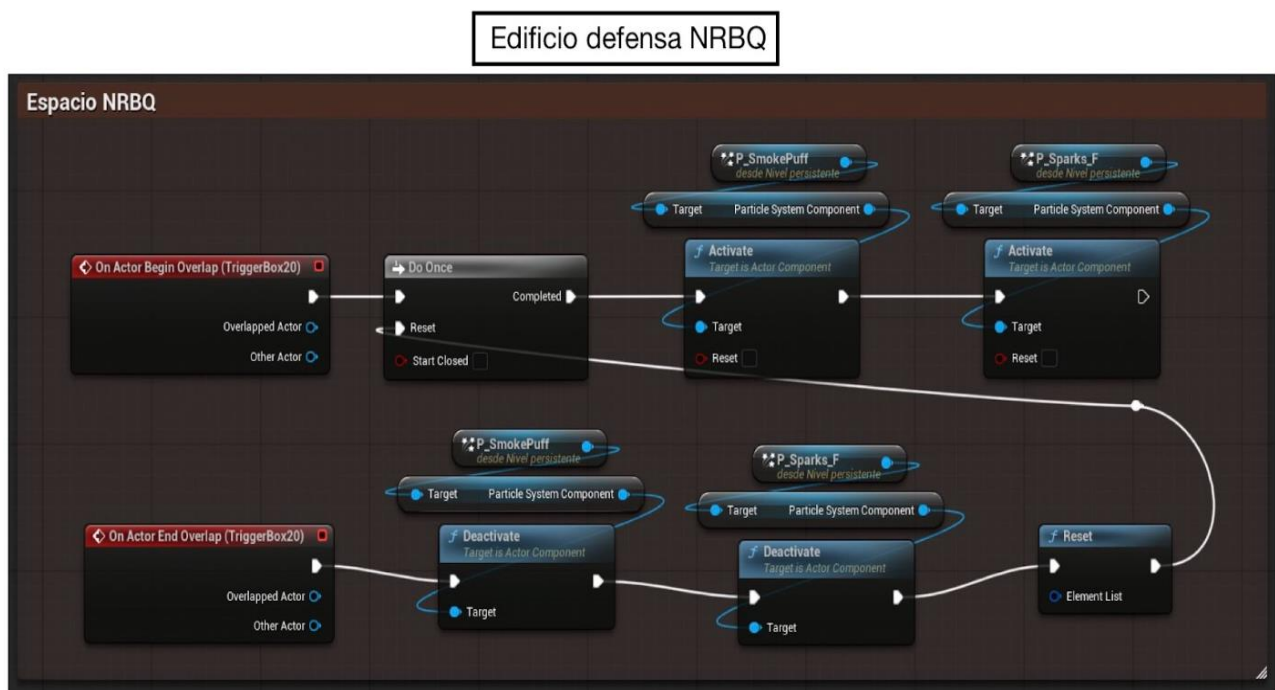


Figura 3-89 Blueprint general edificio defensa NRBQ (Autoría propia)

El funcionamiento general del edificio NRBQ es también similar al explicado en el apartado 3.4.6.2.1, en el que se muestra la activación y desactivación de los fuegos y humos del edificio.

3.4.7 Configuración Widget Test

El sistema de evaluación que se ha implementado en el simulador se apoya en un *Widget Blueprint* para poder centralizar la presentación de las preguntas, las respuestas y la actualización de la puntuación. Para llevar a cabo la configuración general de este sistema de preguntas y respuestas se han realizado distintas funciones interconectadas, organizadas a través de módulos en distintos actores dentro del nivel para facilitar la modificación de estos.

3.4.7.1 Inicialización de variables

Todo el conjunto de variables relacionadas con la evaluación y la puntuación del usuario se encuentra inicializadas y gestionadas desde el *Game Instance*, concretamente en la clase *GI_EvaluacionIncidencia*, como se muestra en la Figura 3-90.

El uso del *Game Instance* permite mantener la inicialización y el valor de las variables durante toda la ejecución de la simulación, así como reiniciar correctamente los valores al acceder a un nuevo edificio del escenario.

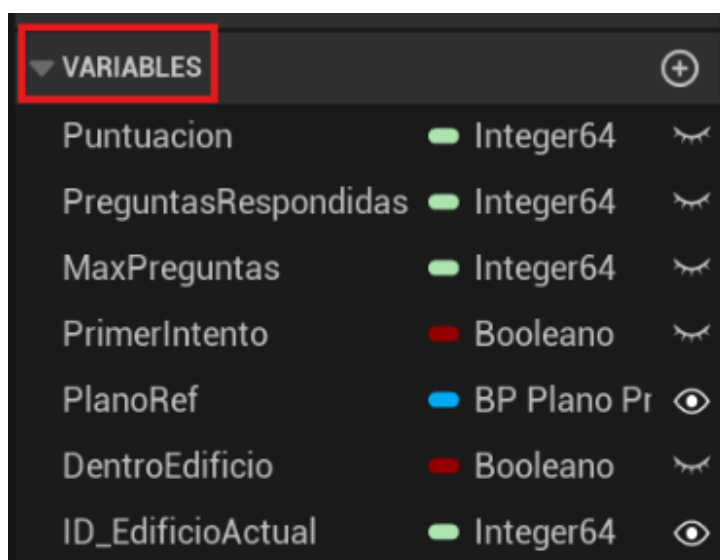


Figura 3-90 Variables en *GI_EvaluacionIncidencia* (Autoría propia)

Gracias a este sistema de inicialización de variables, el *Widget* actúa principalmente como una interfaz visual, mientras que toda la lógica de la estructura que forma este sistema se encuentra gestionada desde el *Game Instance*.

3.4.7.2 Detección del tipo de entrada

Con el objetivo de adaptar la interfaz del simulador al dispositivo utilizado por el usuario, se ha implementado un sistema capaz de detectar si la interacción se está realizando mediante teclado o mando de control.

Para ello se ha empleado una acción de entrada denominada *TipoEntrada*, configurada dentro del sistema de *Action Mapping* de Unreal Engine. Esta acción puede activarse mediante una tecla del teclado o mediante un botón del mando, permitiendo detectar el dispositivo que se está utilizando en cada momento. En este caso se ha empleado la tecla y el botón del movimiento hacia delante, que siempre va a ser usada antes de que cualquier interfaz se cree, y por tanto se actualizarán los iconos de forma segura.

Como se muestra en la Figura 3-91, cuando se produce una entrada relacionada con esta acción, el sistema evalúa la tecla recibida mediante la función *Is Gamepad Key*, la cual permite comprobar si la entrada proviene de un mando o del teclado. La información obtenida de esta evaluación se actualiza en la variable *TipoInput*, siendo *True* para el empleo del mando y *False* para el uso del teclado.

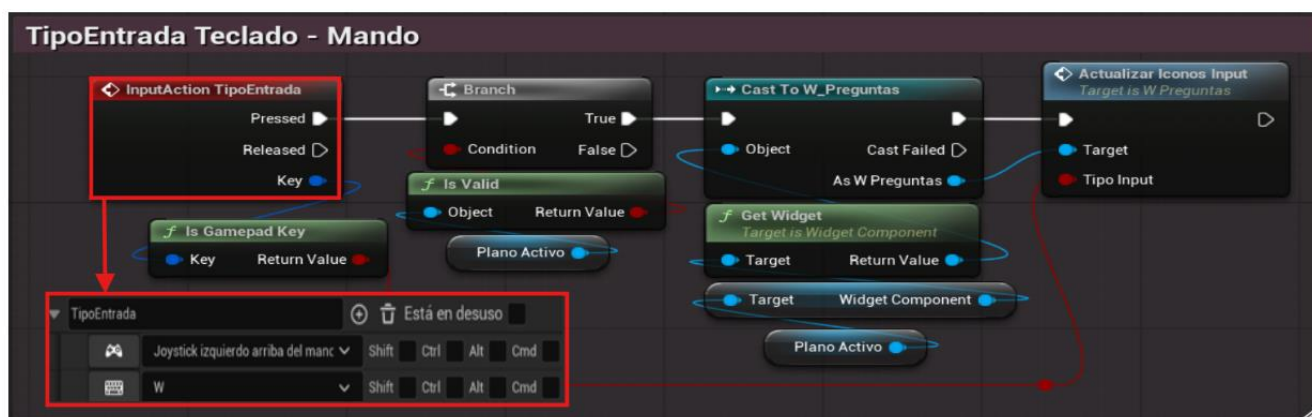


Figura 3-91 Tipo entrada Teclado - Mando (Autoría propia)

Si todas las variables empleadas en la lógica son válidas y están activas, se ejecuta la función *ActualizarIconosInput*, la cual permite modificar dinámicamente los iconos mostrados en el *Widget*,

adaptando las indicaciones visuales a los controles del dispositivo detectado (teclas para el teclado y botones para el mando).

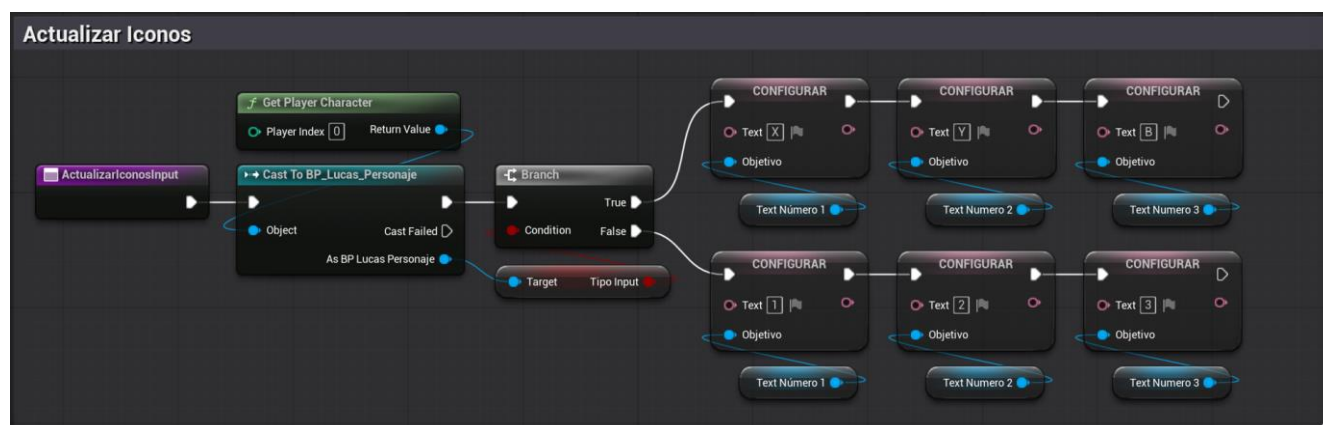


Figura 3-92 Actualizar iconos del Widget (Autoría propia)

Esta función, tal y como se observa en la Figura 3-92, emplea una estructura condicional (*Branch*) para comprobar si el usuario está utilizando mando o teclado. En función del resultado, se actualizan los textos e iconos mostrados en los elementos de la interfaz, asignando los correspondientes a los botones del mando (X, Y, B) o a las teclas del teclado (1, 2, 3).

3.4.7.3 Integración del `WidgetComponent`

El sistema de preguntas no se encuentra implementando como un elemento independiente que flota en la pantalla, sino que está vinculado físicamente a un objeto del escenario, como un plano. Para llevar esto a cabo, se ha empleado un *WidgetComponent* integrado dentro de un *Blueprint* que se ha denominado *BP PlanoPregunta*.

Este Blueprint se trata de un plano físico que se encuentra en el entorno virtual y que se actúa como el soporte para poder llevar a cabo esta interacción evaluativa. Además, el *WidgetComponent* que se encuentra sobre este plano permite que se pueda proyectar el *Widget* directamente en el mundo 3D, manteniendo su posición y orientación dentro del escenario.

A su vez, este elemento incluye un conjunto de variables que permite gestionar el estado de las preguntas y el contenido de cada una de ellas, como se muestra en la Figura 3-93. Estas variables son las que permiten que se pueda definir de forma dinámica el contenido de las preguntas y establecer cuál es la respuesta correcta. También se puede observar cómo el *BP_PlanoPregunta* incorpora varias funciones específicas que gestionan el comportamiento del *Widget* asociado a este. Este conjunto de funciones se desarrolla en los subapartados explicados a continuación.

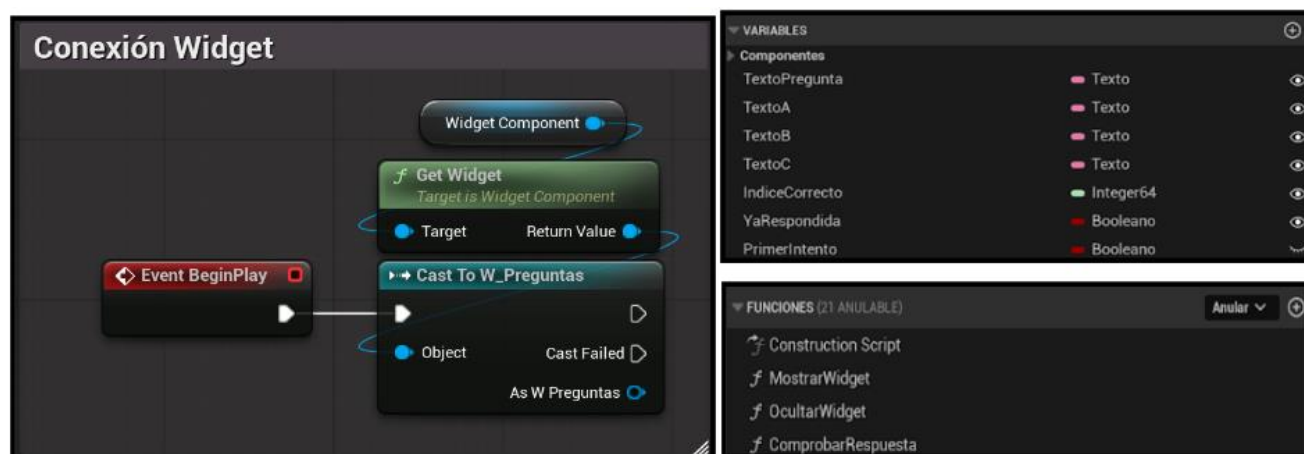


Figura 3-93 Lógica del *BP_PlanoPregunta* (Autoría propia)

3.4.7.3.1 *Mostrar Widget*

Como se ha desarrollado en este mismo apartado, la función *MostrarWidget* se ejecuta cuando el jugador entra en la zona de colisión asociada a la pregunta, y, por tanto, se activa la lógica que se muestra en la Figura 3-94.

Para la activación del Widget, se emplea el nodo *SetVisibility*, aplicándolo sobre el *WidgetComponent* y estableciendo valor *True*, haciendo que sea visible en pantalla. Además, mediante el nodo *GetWidget*, se obtiene la instancia real del *Widget* para poder representar el contenido que real que tiene el componente.

Seguidamente, se ha realizado un *Cast* para poder acceder a las funciones internas del *W_Preguntas* y así configurar la variable *PlanoRef*, pudiendo referirse al plano que va a mostrar la pregunta.

Posteriormente, se ejecuta la función *ActualizarPregunta*, desarrollada en el apartado 3.4.7.5, con la que se consigue establecer el texto de la pregunta, configurar las tres posibles respuestas y definir cuál de ellas es la correcta.

Finalmente, para poder adaptar los iconos del widget en función de si se está empleando mando o teclado, se activa la función *ActualizarIconosInput*, la cual se desarrolla en el apartado 3.4.7.2, y que permite que se genere de forma correcta la interfaz de usuario.

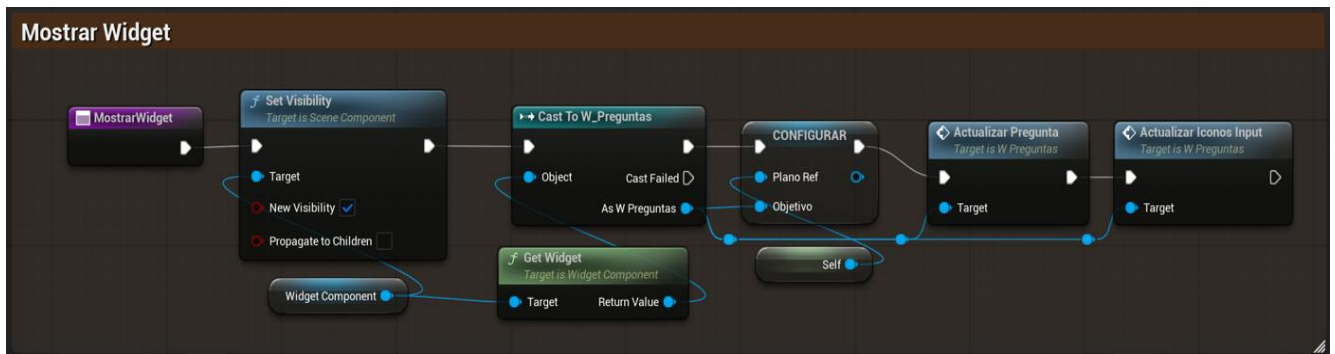


Figura 3-94 Mostrar Widget (Autoría propia)

3.4.7.3.2 *Ocultar Widget*

La función *OcultarWidget* se ejecuta cuando el jugador abandona la zona de colisión, y aunque sea de funcionamiento simple, tiene una función de gran relevancia en el desarrollo de la lógica del sistema de evaluación.

Como se muestra en la Figura 3-95, se emplea el nodo *SetVisibility* sobre el mismo *WidgetComponent* que había sido activado en la función *MostrarWidget*.

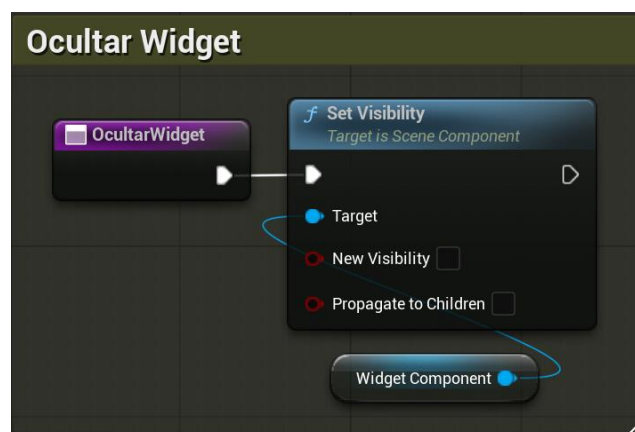


Figura 3-95 Ocultar Widget (Autoría propia)

Sin embargo, estableciendo el parámetro en *Falso*, se consigue que la pregunta deje de mostrarse en pantalla, impidiendo la interacción fuera del área correspondiente.

3.4.7.3.3 Comprobar Respuesta

Para finalizar, se ha empleado la función *ComprobarRespuesta*, la cual constituye el núcleo lógico del sistema de evaluación. En cuanto a su funcionamiento y siguiendo la estructura de la Figura 3-96, en primer lugar, se compara el número de respuesta seleccionada a través de la función *Responder*, con el *IndiceCorrecto*.

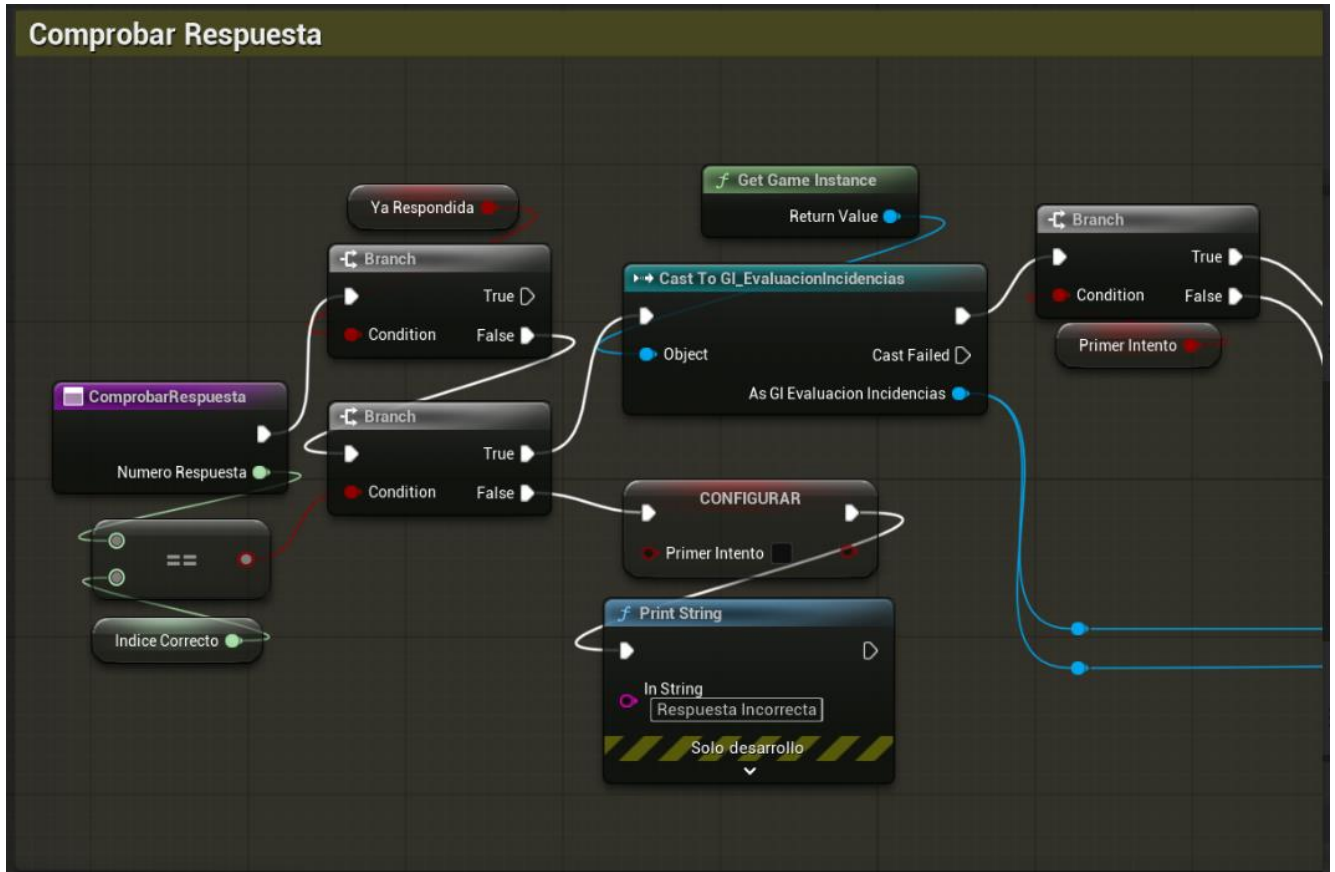


Figura 3-96 Comprobar respuesta parte 1 (Autoría propia)

Además, también se debe verificar que esta respuesta no haya sido respondida anteriormente, para evitar fallos en la lógica del sistema de puntuación. Si este conjunto de condiciones se cumple, se continúa con la ejecución del sistema de evaluación que se desarrolla en el apartado 3.2.4, en el que a través de la variable *PrimerIntento*, inicializada a *True*, se comprueba si se ha marcado la respuesta correcta a la primera oportunidad o, sin embargo, ha sido acertada después de dos o más intentos y, por tanto, habiendo fallado el primer intento. Con esta variable, se consigue que solo se contabilicen aquellas preguntas que han sido acertadas en el primer intento, y no aquellas en las que el usuario ha marcado inicialmente la respuesta errónea.

Esta lógica ayuda a la formación del usuario, ya que permite que, pese a fallar en la respuesta a la pregunta y no le sume puntuación, pueda seguir contestando y al menos conozca cuál es la solución que se considera correcta. En este caso, la variable *PrimerIntento* se pondría como *False* y se imprimiría en pantalla la frase: “Respuesta incorrecta”.

En cualquier caso y siguiendo la Figura 3-97, si la respuesta es correcta, se incrementaría tanto a la puntuación, como la variable *PreguntasRespondidas*, la cual se empleará posteriormente en la lógica global de los edificios, y que sirve para poder contar el total de preguntas que ya se han respondido en un edificio.

La puntuación de cada edificio se gestiona mediante una variable de tipo *Map*, denominada *MapaPuntuaciones*, que asocia el identificador del edificio con la puntuación obtenida en él. Cuando el jugador acierta una pregunta en el primer intento, el sistema busca la puntuación actual del edificio mediante el nodo *Find*. A continuación, se incrementa este valor en una unidad y se actualiza en el mapa utilizando el nodo *Add*. De esta forma, el simulador mantiene almacenada de forma independiente la puntuación obtenida en cada uno de los edificios del escenario.

Este conjunto de nodos se muestra en pantalla a través del sistema de puntuación del apartado 3.4.7.5 y se actualiza gracias a la función *ActualizarPuntuación*, mostrada en la Figura 3-103.

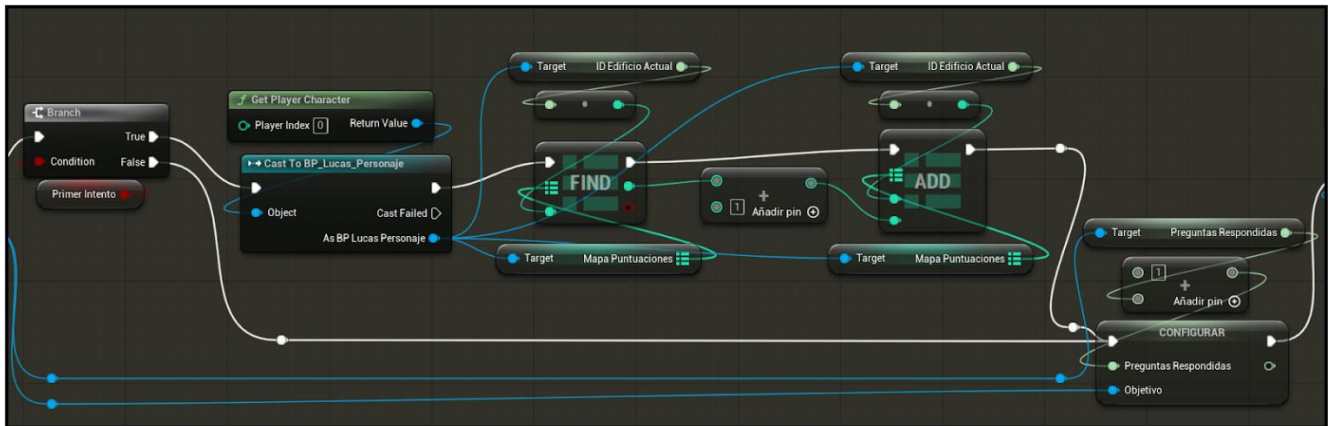


Figura 3-97 Comprobar respuesta parte 2 (Autoría propia)

Finalmente, como se muestra en la Figura 3-98, se debe comprobar de forma continua si se han respondido las 10 preguntas que se encuentran en cada edificio, por lo que se emplea un *Branch* en el que se compara si el número de preguntas respondidas, con su variable correspondiente, es igual al número máximo de preguntas, definido con la variable *MaxPreguntas*, que tiene el valor del número entero 10.

Si esta igualdad no se cumple, es decir, quedan preguntas por responder, la pregunta se marca como ya respondida para evitar duplicidad y se oculta el Widget. En el caso de que esta igualdad se cumpla, supone que se habrán respondido todas las preguntas de ese edificio y, por tanto, habría que continuar con el siguiente espacio, o bien, habría finalizado la simulación del edificio.

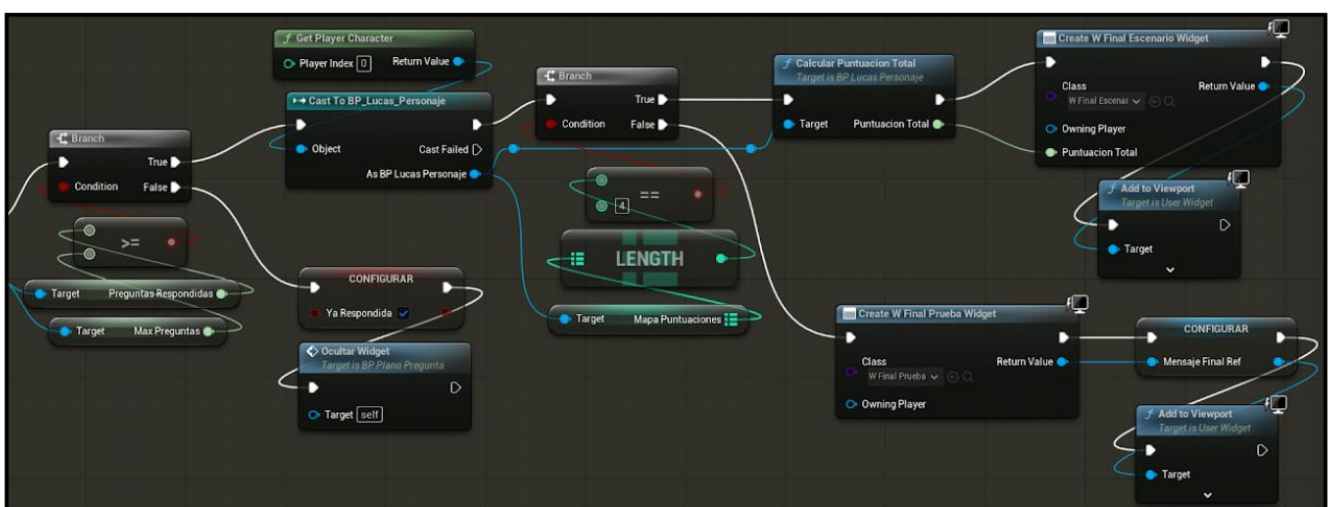


Figura 3-98 Comprobar respuesta parte 3 (Autoría propia)

En el caso de que haya finalizado la simulación del edificio, se oculta el *Widget* de preguntas y se comprueba el número de edificios completados utilizando el mapa de puntuaciones. Si todavía quedan edificios por realizar, el jugador continúa con la simulación. En cambio, si se han completado todos los

edificios del escenario, el sistema calcula la puntuación total mediante la suma de las puntuaciones almacenadas y muestra en pantalla el *Widget* final del escenario, donde se presenta el resultado global de la simulación.

3.4.7.4 Funcionamiento general del *Widget*

En primer lugar, la visualización del *widget* se activa mediante la colisión con un *Trigger*, a través de su *CollisionComponent*, en el cual cuando el jugador entra en la zona de colisión se realiza un *Cast* a este personaje, y se comprueba si está activada la variable que comprueba si la pregunta ya ha sido respondida. En caso de que esta sea negativa, se ejecutará la función *MostrarWidget* (explicada en el apartado 3.4.7.3.1), añadiendo el elemento al *Viewport*. Esta lógica se puede observar en la Figura 3-99.

Realizando el *Cast* al personaje, se consigue que se pueda mostrar en la interfaz del personaje durante la simulación el plano del *Widget* correspondiente, a través de la activación de *PlanoActivo*. A su vez, esta variable ha sido definida a través de la variable *PlanoRef* en el mismo panel de detalles del nivel.

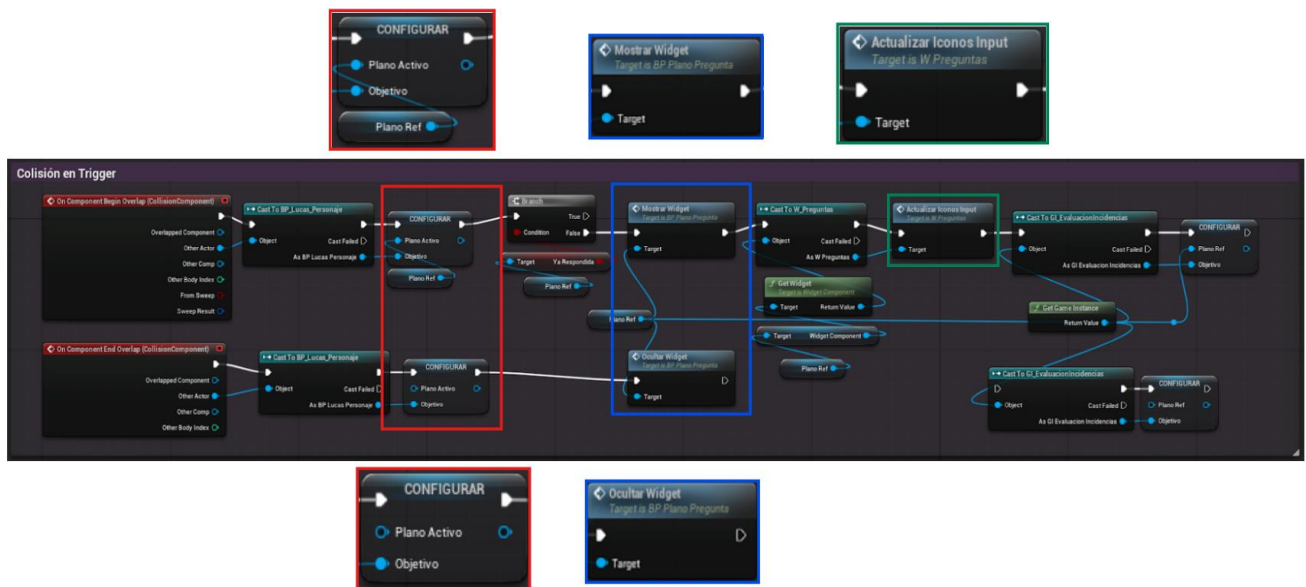


Figura 3-99 Colisión en *Trigger* (Autoría propia)

Cabe destacar que cada *Trigger* que se ha empleado en el nivel para la configuración del *Widget* emplea la variable *PlanoRef* con la cual se permite definir cuál de los *PlanoPregunta* debe activar en cada caso.

Cuando el jugador abandona la zona de colisión, se ejecuta la función contraria *OcultarWidget*, eliminando el *Widget* de la pantalla y evitando que se pueda interactuar con él fuera de la zona correspondiente.

Como se puede observar en la Figura 3-99, se evita que aparezca el *Widget* cuando el jugador está fuera del *Trigger*, ya que con posterioridad al *Cast*, se configura la variable *PlanoActivo* a 0 (cuando no se conecta ninguna variable ni valor a un nodo configurar, es como darle valor 0), evitando que *PlanoRef* siga activo y se ejecute de manera errónea durante la simulación.

El diagrama de la Figura 3-100, representa la lógica de funcionamiento implementada mediante *Blueprints* en Unreal Engine para gestionar la interacción del jugador con un plano interactivo dentro de la simulación.

En conjunto, esta lógica de funcionamiento permite gestionar de manera eficiente la interacción entre el usuario y los elementos de interfaz dentro del entorno virtual, asegurando que la información se muestre únicamente en los contextos adecuados.

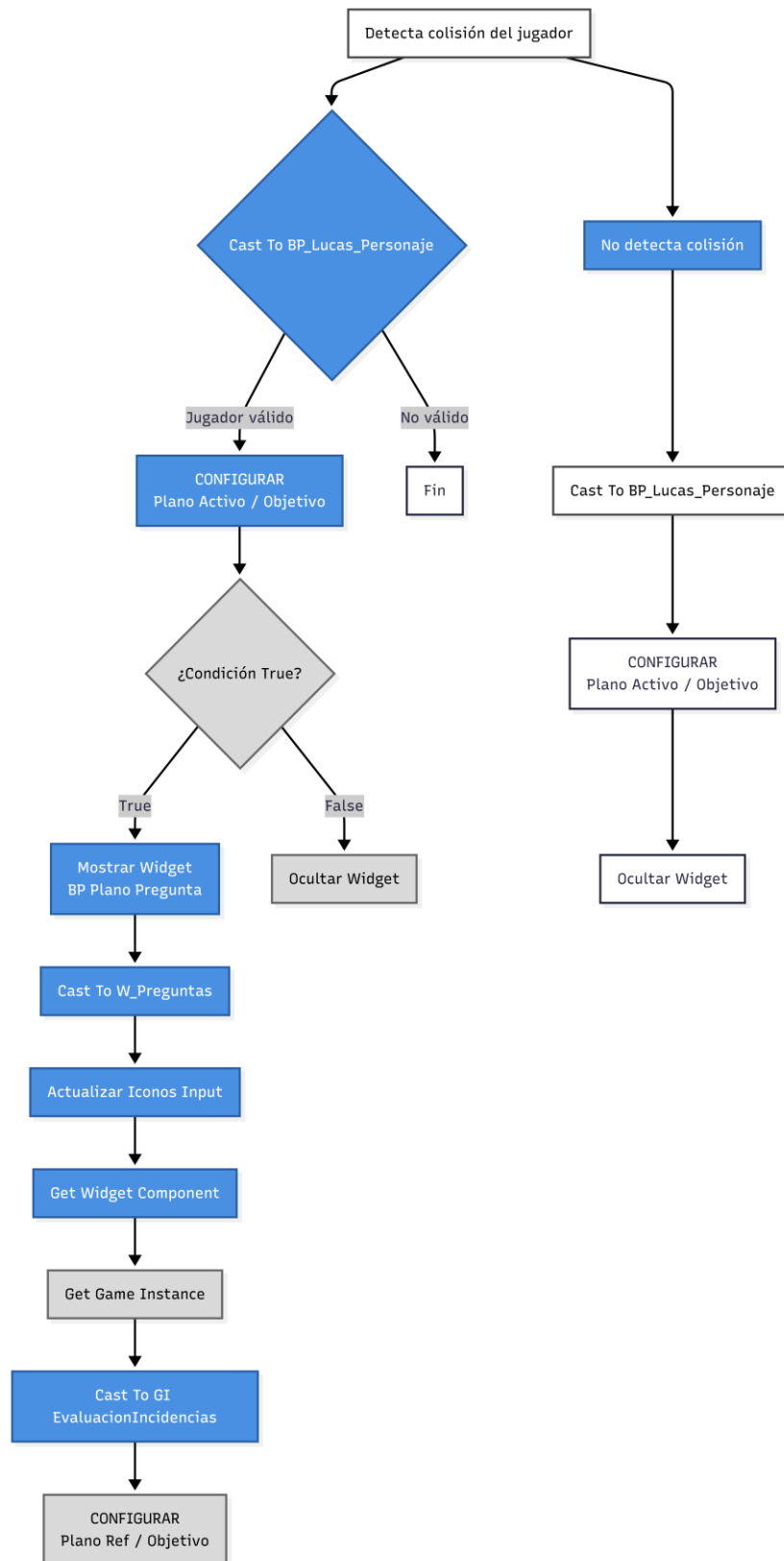


Figura 3-100 Diagrama de flujo interacción usuario (Autoría propia)

Para continuar, dentro del *WidgetBlueprint*, mostrado en la Figura 3-65, se emplea la función *ActualizarPregunta*, la cual se encarga de asignar de forma dinámica el texto de la pregunta en cada uno de los planos distribuidos por el escenario. Con este tipo de lógica se actualizan las tres preguntas que forman cada *Widget*, así como la configuración de la variable *IndiceCorrecto*, con la que se define la respuesta correcta.

Este sistema permite la reutilización de un mismo *Widget* para múltiples preguntas, pudiendo modificar únicamente los datos de entrada en el apartado de detalles correspondiente al plano de la pregunta dentro del mismo nivel.



Figura 3-101 Acciones de entrada para respuesta (Autoría propia)

Asimismo, también se ha adaptado el Blueprint del jugador para permitir que, desde su interfaz durante la simulación, se puedan detectar las entradas por teclado/mando de las respuestas del usuario a las preguntas de los *Widget*.

Como se muestra en la Figura 3-101, la selección de respuestas se realizó mediante acciones de entrada configuradas en el sistema de *Action Mapping* de Unreal Engine. En concreto, se han definido tres acciones denominadas *Responder1*, *Responder2* y *Responder3*, cada una de ellas vinculada a una tecla del teclado o a un botón del mando. Estas tres *InputAction* han sido explicadas detalladamente en el apartado 3.4.8.

Estos elementos de entrada están asociados a la función *Responder* dentro del *Blueprint* del jugador. En este tipo de función, cada tecla envía como parámetro un número de respuesta (asociado al teclado del ordenador o a los botones del mando), que posteriormente se evalúa en la función de comprobación.

3.4.7.4.1 Responder

La función *Responder* es la que gestiona la selección de respuestas del usuario durante las preguntas del simulador. Esta función es llamada por los distintos *InputAction* configurados para las teclas o botones del mando asociados a cada opción de respuesta de la Figura 3-101.

En primer lugar, la función comprueba si la pregunta ya ha sido respondida mediante la variable *YaRespondida*, para poder evitar que el usuario pueda enviar varias respuestas a una misma pregunta. Además, se verifica que el *Widget* de la pregunta se encuentre activo mediante el nodo *IsValid*.

Finalmente, la función llama a la función *ComprobarRespuesta*, explicada en el apartado 3.4.7.3.3, enviando como parámetro el número de respuesta seleccionado por el usuario, lo que permite evaluar la respuesta elegida.

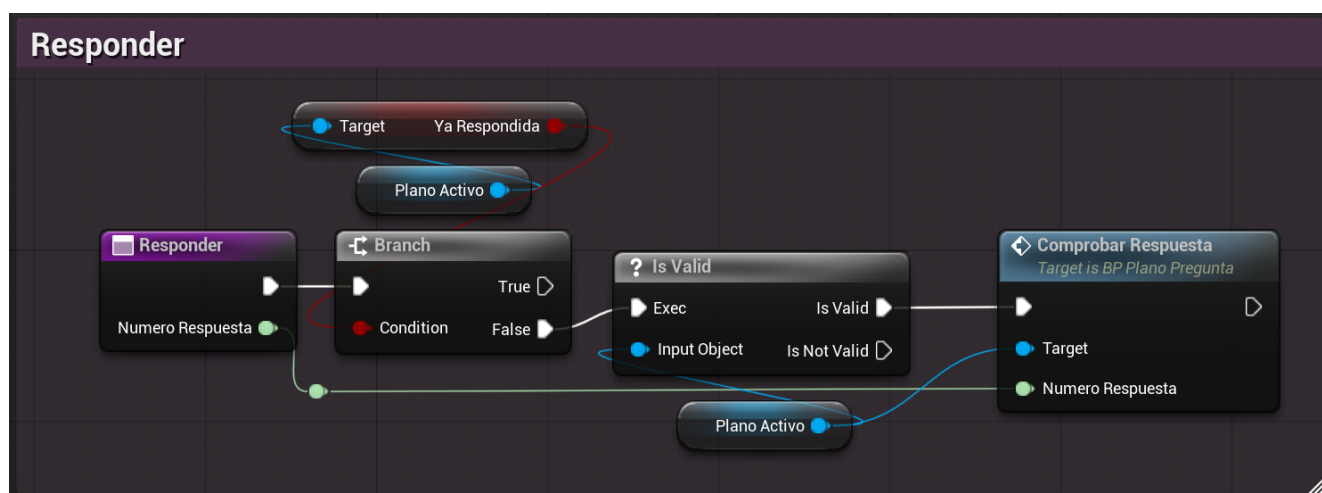


Figura 3-102 Responder (Autoría propia)

3.4.7.5 Sistema de puntuación general

Para poder evaluar la ejecución del usuario dentro de cada edificio del simulador, se ha implementado un sistema de puntuación a través de Blueprints. Tal y como se desarrolla en el apartado 3.2.4, cada edificio dispone de una calificación independiente sobre 10 puntos, en función del número de respuestas correctas.

Cabe destacar que el *Widget* empleado para la representación del sistema de puntuación general en la interfaz del usuario es creado a partir de la lógica del personaje, tal y como se redacta en el apartado 3.4.5.2, y se muestra en la Figura 3-77.

Este sistema de puntuación también emplea un *Widget* como representación de los resultados que vamos obteniendo en la pantalla del usuario, tal y como se muestra en la Figura 4-2. El valor de las respuestas acertadas se va actualizando en esta interfaz gracias al empleo de un árbol de lógica de desarrollo con Blueprints como se observa en la Figura 3-87.

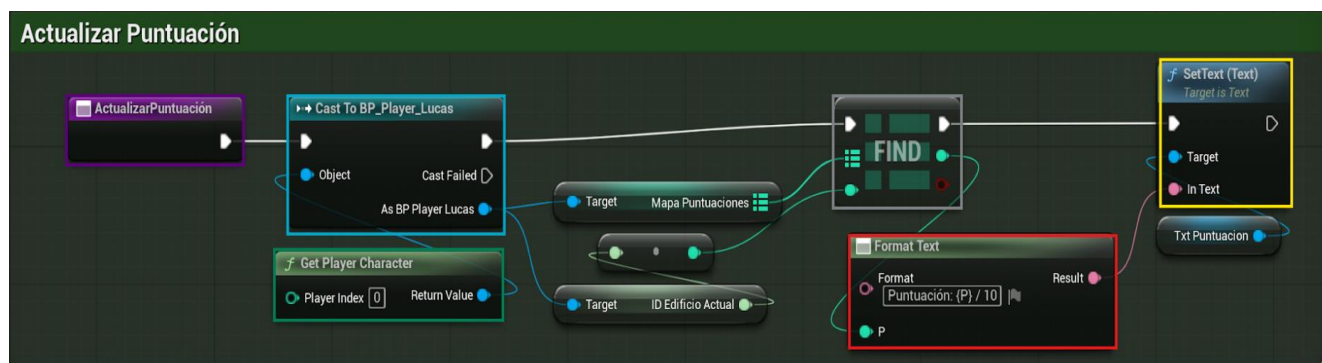


Figura 3-103 Actualizar puntuación (Autoría propia)

En esta figura, se emplea una función específica denominada *ActualizarPuntuación* (color morado), en la cual después de ejecutarse el evento que inicia la función se da acceso al *Game Instance* (representado en color verde) para obtener una referencia al objeto global que almacena la variable de puntuación del edificio y, además, se conecta al *Cast* para poder acceder a *BP_PlayerLucas* y a sus variables *IDEdificioActual* y *MapaPuntuación* (color azul).

Seguidamente, después de haber validado el *Cast* y haber llamado a las variables correspondientes, se emplea el nodo *FIND* (color gris), el cual se emplea para buscar un valor asociado a una clave, es decir, *IDEdificioActual* dentro de una estructura tipo *Map*. El valor que almacena este nodo se corresponde con la puntuación correspondiente a ese edificio y, por tanto, es el valor que se desea representar.

Por último, se recupera el valor actualizado que tiene la variable y a través del *Format Text* (color rojo), se construye dinámicamente la cadena de texto: “Puntuación: {P} / 10”, donde {P} es el valor entero que se ha almacenado en la variable. Asimismo, con el nodo *SetText* (color amarillo) se consigue actualizar en tiempo real el contenido de *TxtPuntuacion* dentro del *Widget*.

3.4.7.6 Puntuación final edificio

Una vez se han completado todas las preguntas de un edificio, el sistema de puntuación activa automáticamente el cálculo de la puntuación final obtenida por el usuario. Este proceso tiene lugar en la función *ComprobarRespuesta*, donde además se verifica la validez de las respuestas y se controla el número total de preguntas respondidas.

Además, cuando el usuario llega al número total de preguntas definidas para ese edificio, el sistema activa la lógica encargada de mostrar el resultado final de la prueba, activando la función *PuntuacionFinal*, como se muestra en la Figura 3-104. En ese momento, se lleva a cabo la misma lógica que la desarrollada en el apartado 3.4.7.5, en el que se consulta el mapa de puntuaciones del jugador, en el que se almacenan los resultados obtenidos para cada edificio del simulador.

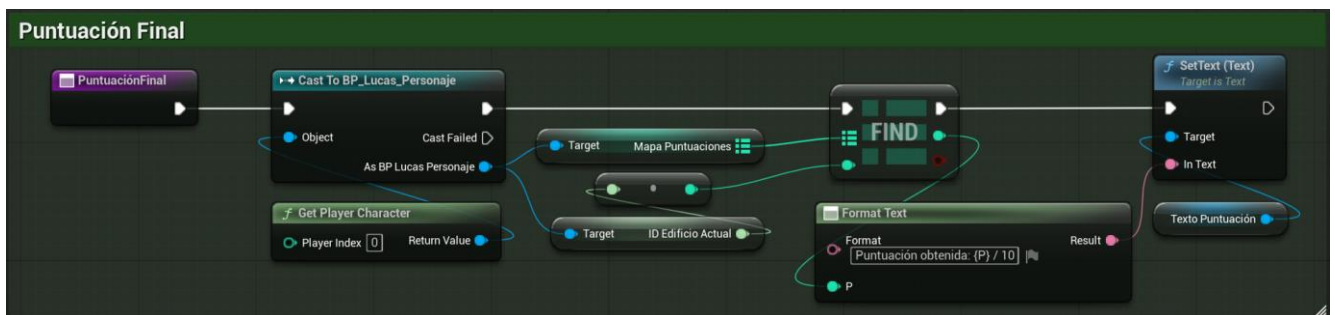


Figura 3-104 Puntuación final (Autoría propia)

Mediante una variable que identifica el edificio en el que se encuentra el jugador, el sistema recupera la puntuación correspondiente y la muestra en pantalla a través del *Widget* de la Figura 3-105.



Figura 3-105 Puntuación final del edificio (Autoría propia)

Se genera un mensaje informativo que indica la finalización de la prueba y la puntuación obtenida por el usuario, tal y como se puede observar en la Figura 3-105.

3.4.7.7 Puntuación final escenario

Una vez completadas las distintas áreas del simulador, se calcula la puntuación total del escenario, que representa el resultado global del usuario durante toda la experiencia de entrenamiento, como se explica en el apartado 3.4.7.3.3. Esta puntuación final se obtiene a partir de la suma de las puntuaciones obtenidas en cada uno de los edificios o zonas evaluables del escenario.

Para llevar a cabo este cálculo se ha implementado una función llamada *CalcularPuntuaciónTotal*, la cual recorre todas las puntuaciones almacenadas durante la simulación, empleando las estructuras de datos tipo *Map* y en la que cada edificio del escenario tiene asociado el valor correspondiente a las respuestas correctas obtenidas por el usuario.

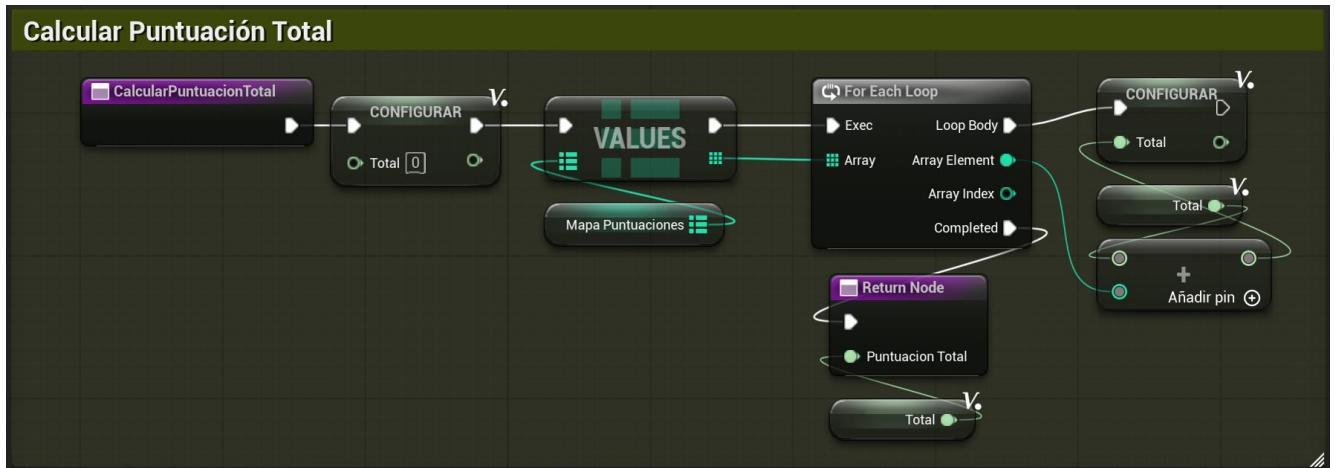


Figura 3-106 Calcular puntuación total (Autoría propia)

La función accede a los valores almacenados y mediante el bucle *ForEachLoop*, recorre todas las puntuaciones que han sido registradas. Todas estas puntuaciones se almacenan en una variable auxiliar que representa la puntuación total a medida que se desarrolla el escenario. Por último, cuando se ha finalizado el recorrido del conjunto de datos, el sistema devuelve el valor total obtenido, que se almacena en la variable *PuntuaciónTotal*. Este resultado también se utiliza para actualizar la interfaz de usuario, mostrando en pantalla la puntuación global alcanzada por el jugador al finalizar la simulación.

Para presentar esta información al usuario, se emplea una función que actualiza el texto del *Widget* de puntuación final, generando dinámicamente el mensaje correspondiente mediante el nodo *FormatText*, como se muestra en la Figura 3-107



Figura 3-107 Configuración Widget puntuación final escenario (Autoría propia)

A través de la lógica explicada en el apartado 3.4.7.3.3, que determina que el escenario ha finalizado, el sistema obtiene la puntuación total alcanzada por el jugador y la presenta en pantalla mediante un *Widget*, como se observa en la Figura 3-108.



Figura 3-108 Puntuación final del escenario (Autoría propia)

De esta forma, se muestra un mensaje en el que se muestra que la simulación ha finalizado y refleja la puntuación final obtenida por el usuario. Esta puntuación, como se redacta en el sistema de puntuación, da una valoración global sobre 40 puntos en la que se incluyen todas las preguntas que se han dispuesto por el escenario.

3.4.7.8 Funcionamiento global del sistema

La Figura 3-109 muestra el funcionamiento global del sistema de evaluación implementado en el simulador. Este diagrama resume la lógica general que se ha programado mediante Blueprints en Unreal Engine, integrando los diferentes sistemas desarrollados para la gestión del *Widget* de preguntas tipo test, el control de la puntuación y la progresión entre edificios.

El sistema se activa cuando el usuario entra en un edificio, momento en el que se inicializan las variables de preguntas y puntuación. A partir de ahí, se presentan las preguntas del escenario correspondiente, evaluando si el usuario responde correctamente en el primer intento para sumar puntuación. El proceso se repite hasta completar el número máximo de preguntas del edificio. Una vez finalizado, el sistema permite continuar al siguiente edificio o, en caso de haber completado todos los escenarios, finaliza la simulación mostrando el resultado final.

Este comportamiento ha sido posible gracias a la integración de múltiples Blueprints, encargados de gestionar la aparición de los *Widgets*, el registro de respuestas, el cálculo de puntuaciones y la navegación entre los distintos escenarios de entrenamiento.

Finalmente, este flujo de funcionamiento permite estructurar de manera ordenada la lógica del sistema, garantizando una progresión coherente del usuario a lo largo del escenario y facilitando la gestión del estado de la simulación en cada momento. Asimismo, esta arquitectura modular basada en Blueprints favorece la ampliación del sistema, permitiendo la incorporación de nuevos escenarios, variables y funcionalidades sin comprometer el rendimiento global.

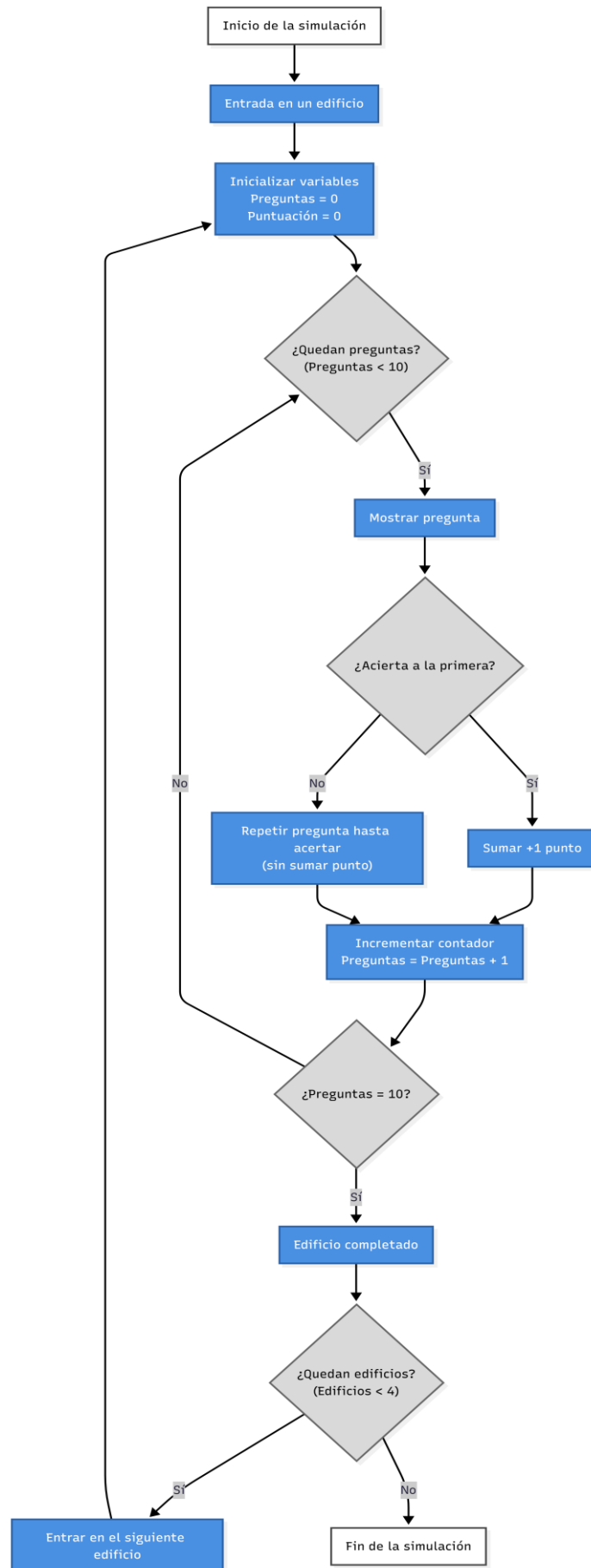


Figura 3-109 Diagrama de flujo funcionamiento global (Autoría propia)

3.4.8 Configuración del mando de control

Con el objetivo de mejorar la interacción del usuario con el simulador y permitir el uso tanto de teclado como de mando de control, se ha realizado una adaptación del sistema de entrada del motor gráfico mediante la configuración de *Action Mappings* dentro de Unreal Engine.

Este tipo de configuración permite que se puedan asociar distintas teclas o botones de un dispositivo de entrada a una misma acción dentro del sistema, mejorando la gestión de los controles y permitiendo que una misma acción se pueda ejecutar desde diferentes dispositivos, en función de las necesidades del usuario.

En el presente proyecto, se han configurado tres acciones principales destinadas a la selección de respuestas dentro del sistema de evaluación: *Responder1*, *Responder2* y *Responder3*. Además, como se muestra en la Figura 3-110, cada una de estas acciones se ha vinculado tanto a una tecla del teclado como a un botón del mando, de la siguiente forma:

- *Responder1* se asocia a la tecla 1 del teclado y al botón frontal izquierdo del mando (X).
- *Responder2* se asocia a la tecla 2 del teclado y al botón frontal superior del mando (Y).
- *Responder3* se asocia a la tecla 3 del teclado y al botón frontal derecho del mando (B).

Además, se mantiene la acción *Jump*, incluida por defecto en la plantilla de tercera persona de Unreal Engine, que permite realizar la acción de salto mediante la barra espaciadora o el botón inferior del mando.

Como se observa en Figura 3-110, esto facilita la implementación de la lógica de interacción dentro del Blueprint del personaje, donde cada acción que se define en el *Action Mapping* activa la función correspondiente encargada de procesar la respuesta que se haya programado.

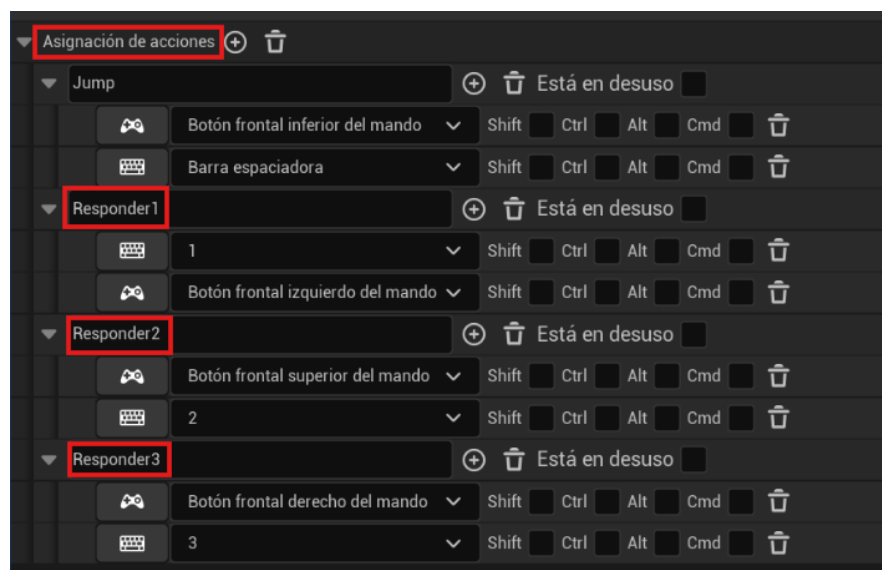


Figura 3-110 Asignación de acciones para empleo de mando (Autoría propia)

3.4.9 Interacción personaje - escenario

Con el objetivo de llevar a cabo una interacción entre el usuario y los distintos elementos del escenario, se ha implementado un sistema de activación basado en eventos de entrada dentro de volúmenes de colisión. Este mecanismo permite que se habiliten determinadas acciones cuando el personaje se encuentra en una zona específica del escenario.

Seguidamente, hay varias incidencias en las que se requiere la actuación del usuario para poder acabar con la incidencia. Este tipo de interacciones han sido implementadas en varias situaciones del

escenario, siendo una de las líneas futuras la integración total de la actuación del usuario sobre el escenario.

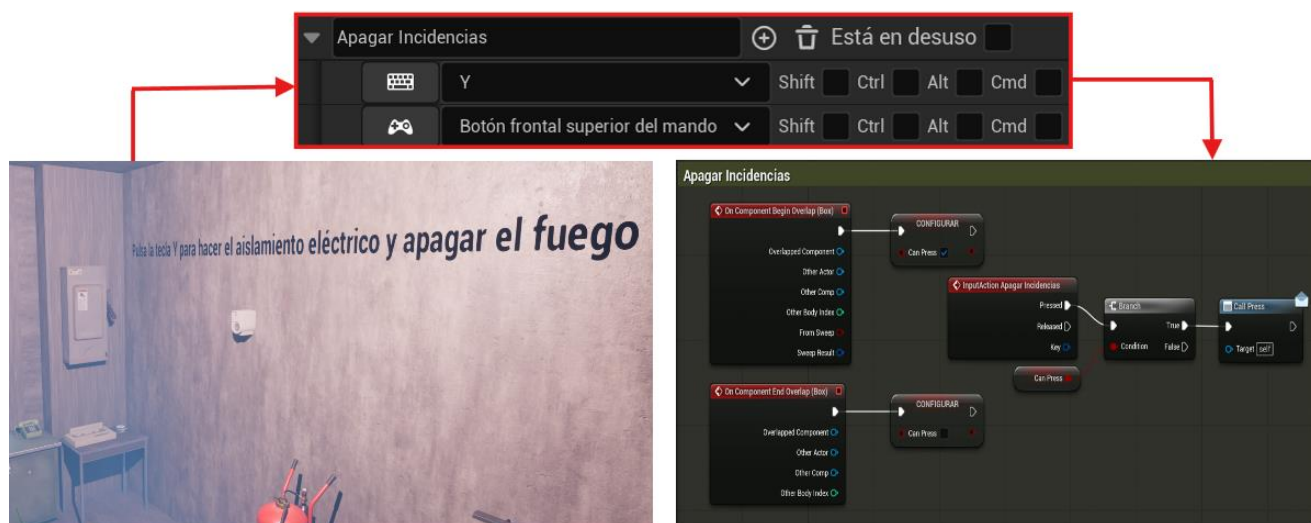


Figura 3-111 Interacción jugador para apagar incendio (Autoría propia)

En este apartado se desarrolla la interacción del personaje a la hora de realizar el aislamiento eléctrico para apagar un incendio, como se muestra en la Figura 3-111. En primer lugar, se ha programado un sistema de interacción basado en la función *CallPress*, en el que cuando el personaje entra en el volumen de colisión asociado al elemento interactivo, el evento *OnComponentBeginOverlap* activa una variable booleana (*CanPress*), activando la posibilidad de realizar la acción correspondiente.

Cuando el jugador entra en la zona, el jugador puede ejecutar la acción mediante el *InputAction* "ApagarIncidencias", asociado tanto a una tecla del teclado como a un botón del mando. Al detectar esta entrada, el sistema comprueba si la variable *CanPress* está activa, y en caso afirmativo, se ejecuta el evento *CallPress*, que, a su vez, ejecuta la acción en el *Blueprint* del nivel.

Como se muestra en el *Blueprint* de la Figura 3-112, este evento provoca la desactivación de los sistemas de partículas que representan el fuego y el humo, simulando como si se hubiese realizado el aislamiento eléctrico y se hubiese apagado el incendio.

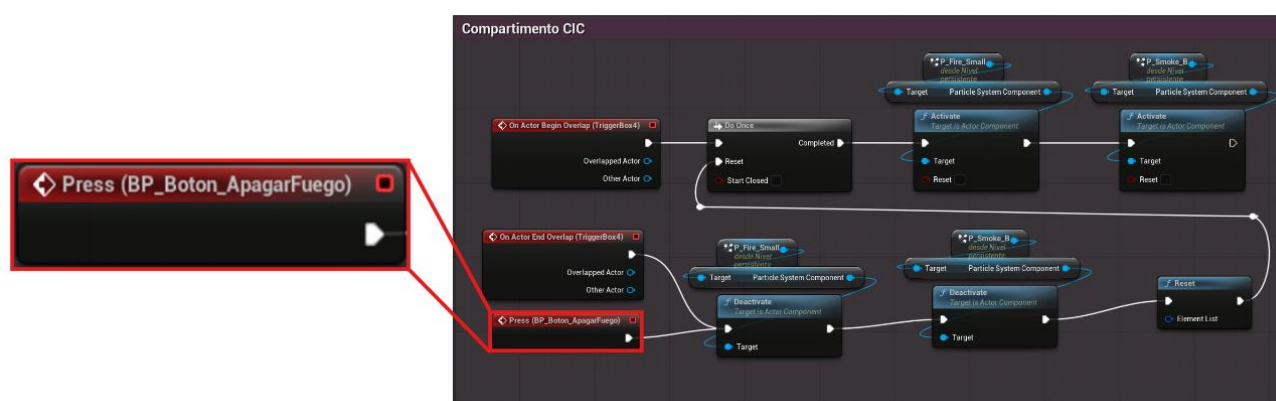


Figura 3-112 Desactivación incidencia mediante interacción del jugador (Autoría propia)

3.4.10 Generación de imágenes panorámicas

Con el objetivo de mejorar la visualización del escenario virtual desarrollado, se ha llevado a cabo la generación de imágenes panorámicas en formato equirectangular, tal y como se muestra en la Figura 3-113 y permitiendo su posterior representación en entornos interactivos 360° mediante aplicaciones web especializadas.

Para ello, en primer lugar, se ha utilizado la herramienta *LevelSequence* de Unreal Engine, que permite crear secuencias cinematográficas a partir de cámaras virtuales dentro del entorno. Se ha añadido un actor de tipo *CineCameraActor*, configurando sus parámetros principales para obtener una captura adecuada del entorno.

Seguidamente, cuando se ha configurado la cámara, se ha procedido a la creación de la secuencia mediante el editor *Sequencer*, donde se ha definido una toma estática del escenario, permitiendo capturar la imagen desde un punto en concreto. Posteriormente, se ha utilizado el sistema de renderizado de Unreal Engine mediante la herramienta *MovieRenderQueue*. En este proceso, se ha activado la opción de renderizado panorámico (*Panoramic Rendering*), que permite generar imágenes en formato equirectangular. Para la configuración de la imagen, se ha configurado la resolución de salida estableciendo valores elevados con el objetivo de garantizar una alta calidad visual en la representación final.

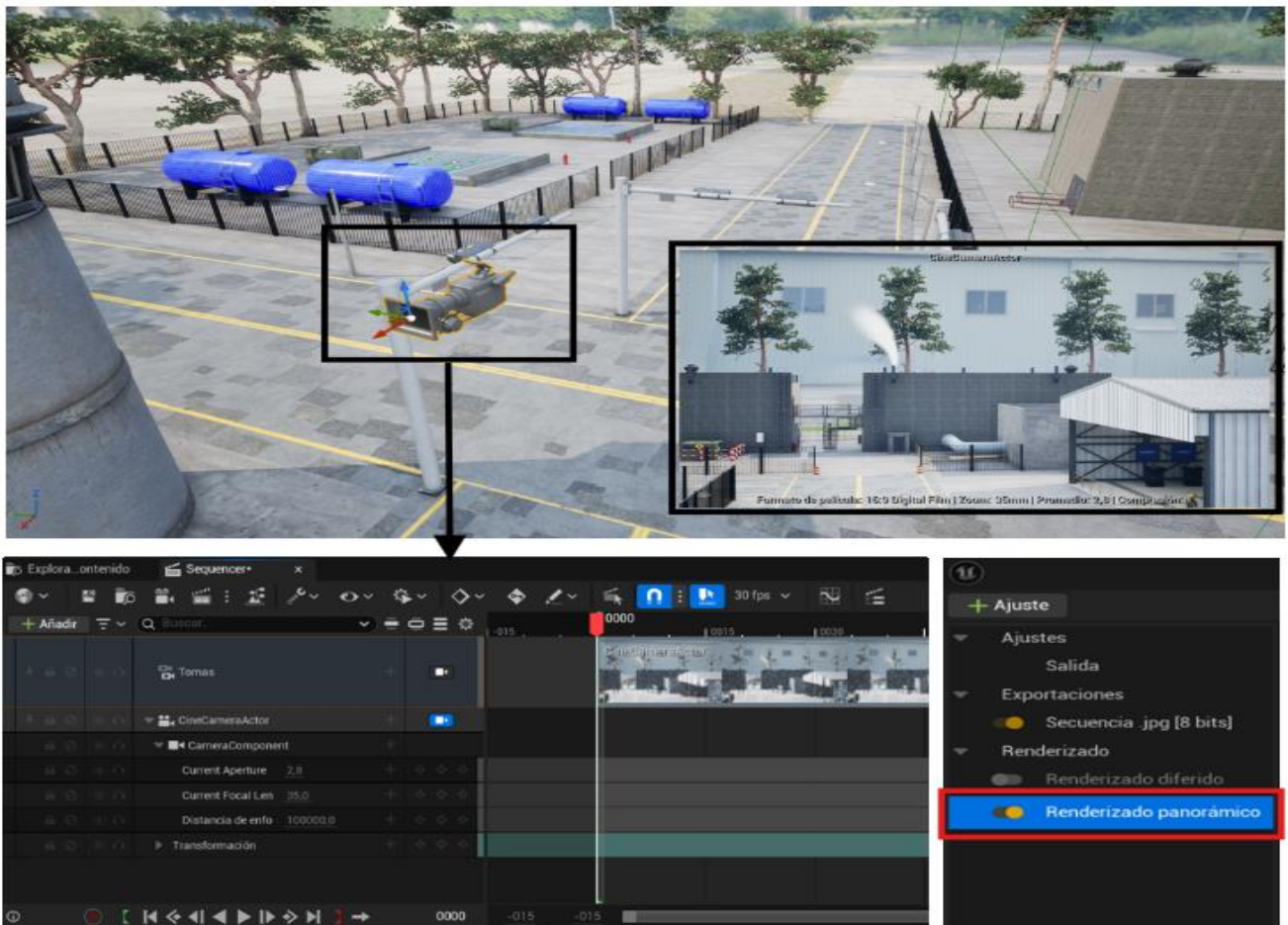


Figura 3-113 Generación de imagen equirectangular (Autoría propia)

Finalmente, la imagen generada ha sido exportada e integrada en la plataforma web *Momento360*, que permite la visualización interactiva de imágenes 360°, mostrada en la Figura 3-114. Esta herramienta facilita la exploración del entorno por parte del usuario, permitiendo rotar la vista en todas las direcciones y proporcionando una experiencia inmersiva del escenario desarrollado.

De este modo, el uso de técnicas de renderizado panorámico junto con herramientas de secuenciación permite obtener representaciones visuales de alta calidad del entorno desarrollado, facilitando su posterior integración en plataformas externas. Este proceso no solo garantiza una correcta captura del escenario desde un punto de vista técnico, sino que también permite generar contenidos visuales accesibles e interactivos para el usuario final.

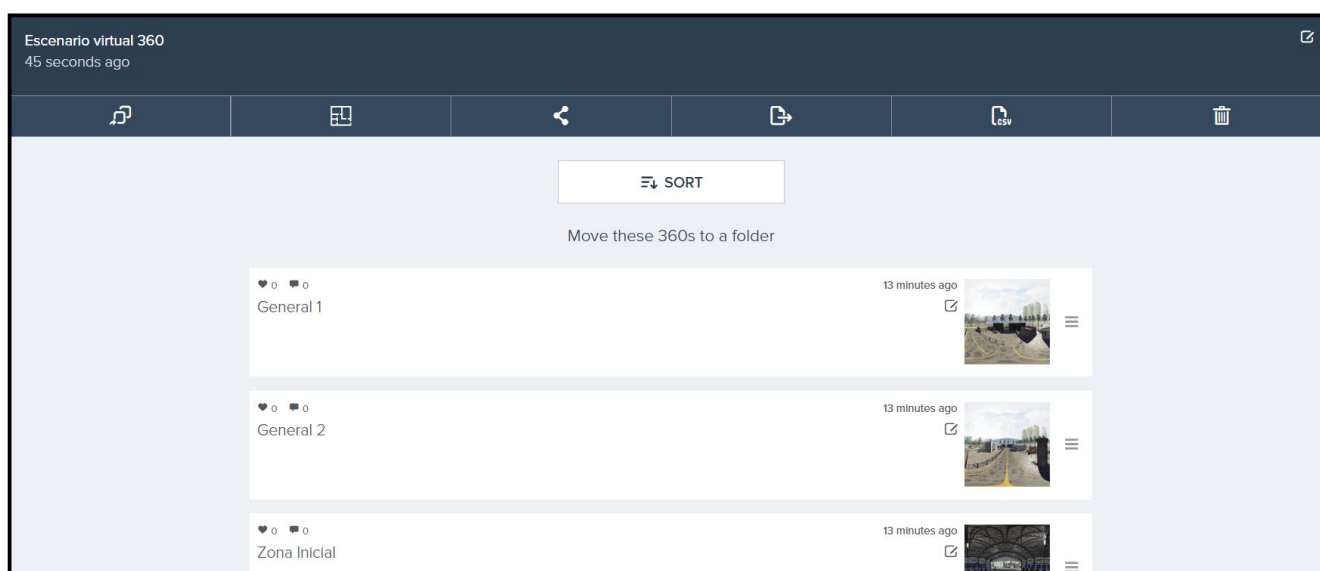


Figura 3-114 Web *Momento360* (Autoría propia)

Tanto la imagen equirectangular generada como el proceso completo descrito se presentan de forma visual en el apartado de resultados del presente proyecto, accesibles mediante un código QR que permite su apertura directa e interactiva.

4 RESULTADOS

4.1 Descripción del apartado

En el presente apartado se van a exponer los resultados que se han obtenido tras el desarrollo y la implementación del simulador descrito en los apartados anteriores. Estos capítulos se presentan de forma estructurada, mostrando los elementos diseñados y desarrollados en un primer lugar, y posteriormente, presentando el escenario virtual completo y los distintos sistemas funcionales que se integran dentro de él.

Seguidamente, este apartado se organiza siguiendo la misma lógica que la empleada en el desarrollo del proyecto, empezando por la configuración general del escenario virtual y las zonas que lo componen. Además, se detallan los distintos edificios del escenario diseñados para el adiestramiento, así como nuevos sistemas de interacción entre el usuario y el simulador.

Finalmente, se exponen cuáles han sido los resultados del sistema de puntuación y evaluación, la lógica de la programación con Blueprints y la integración del entorno en un sistema interactivo.

4.2 Escenario general

El resultado principal del proyecto es el desarrollo de un escenario virtual estructurado en diferentes zonas de instrucción y adiestramiento, diseñadas específicamente para la simulación de situaciones relacionadas con técnicas contraincendios, control de averías y procedimientos NRBQ, como se muestra en la Figura 4-1.

Este escenario ha sido organizado en áreas claramente diferenciadas, cada una con una finalidad concreta. Debido a esa división independiente de los espacios, se permite al usuario identificar fácilmente el tipo de entrenamiento al que se enfrenta en cada momento, favoreciendo que exista una lógica dentro del simulador.

Asimismo, en cada zona se incluyen elementos interactivos en compartimentos específicos y que siguen unas configuraciones diseñadas específicamente para poder recrear situaciones realistas en situaciones de emergencia propias de un buque de guerra.

Se encuentran áreas de iniciación y familiarización con el escenario, edificios contraincendios, zonas de control de averías y zonas de ataque NRBQ, las cuales incorporan sistemas de evaluación y control, permitiendo medir cuál es el desempeño del usuario de forma independiente.

En conjunto, esta organización del escenario permite ofrecer una experiencia de entrenamiento estructurada y progresiva, en la que el usuario puede desarrollar sus habilidades de forma gradual en función de la complejidad de cada zona.



Figura 4-1 Visión general del escenario (Autoría propia)

4.2.1 Sistema de evaluación y puntuación

El sistema de evaluación es uno de los resultados fundamentales del proyecto, ya que permite medir de forma objetiva el desempeño que ha tenido el usuario en cada uno de los edificios y escenarios desarrollados.

Se ha implementado un sistema de puntuación independiente por edificio, estructurado en 10 preguntas por cada espacio. La máxima puntuación posible en cada caso es de 10 puntos, siendo el criterio de aptitud la obtención de 7 preguntas correctas o más. De manera general, la puntuación global de la simulación se sitúa en 40 puntos, siendo necesario alcanzar un total de 28 preguntas correctas, siempre y cuando se hayan obtenido más de 7 puntos en cada uno de los edificios. Toda esta lógica se presenta en la interfaz del usuario con la Figura 4-2.



Figura 4-2 Interfaz visual de la puntuación (Autoría propia)

Este sistema ha sido desarrollado a través de una compleja lógica con Blueprints y empleando un *Widget* (interfaz de usuario) como medio de interacción entre el usuario y la ejecución del simulador, como se muestra en la Figura 4-2. Los resultados obtenidos con la integración de una interfaz virtual y con la aplicación de la lógica se muestran en el apartado 4.3.4.

4.2.1.1 Selección de incidencias

Para el diseño del sistema de evaluación se ha realizado una selección de incidencias representativas de situaciones reales que pueden producirse en un entorno naval, bien sea en materia de contraincendios, control de averías y procedimientos NRBQ.

Para el establecimiento de las incidencias, se han seleccionado siguiendo criterios como la relevancia que tienen a nivel operativo en las unidades de la Armada, la frecuencia con la que se suelen dar en escenarios reales y siempre pensando en la adecuación al nivel de formación que se exige con la ejecución de la simulación.

Además, una de las principales limitaciones en este ámbito reside en las reducidas posibilidades que ofrece el entorno virtual para reproducir el amplio número de incidencias y situaciones que pueden producirse a bordo de un buque, especialmente si se tiene en cuenta el elevado nivel de complejidad de los sistemas y operaciones involucrados.

Entre las incidencias implementadas se incluyen incendios en todas las clases (sólidos, eléctricos, cocina...), presencia de humos en compartimentos, fallos de estanqueidad, situaciones de achiques y apuntalamientos, y, por último, procedimientos ante ataque NRBQ y el empleo de una estación de descontaminación.

4.2.1.2 Selección y elaboración de preguntas

En cuanto al sistema de evaluación, se ha logrado emplear preguntas de opción múltiple con tres respuestas, asociadas a cada incidencia o situación simulada en los diferentes edificios.

La elaboración de las preguntas se ha realizado tomando referencias de manuales doctrinales y normativas actuales de la Armada, como se muestra en la Figura 2-2. Además, se ha empleado la experiencia para determinar procedimientos reales de actuación en situaciones de emergencia operativa propias del ámbito naval.

Como se ha desarrollado anteriormente, cada edificio se ha diseñado para albergar 10 preguntas, siendo un total de 40 en el escenario. Este conjunto de preguntas se muestra en el Anexo III. Las preguntas se han estructurado con tres posibles respuestas, de las cuales solo una es la correcta. Asimismo, debido a la extensión de la doctrina en Seguridad Interior y a la elevada experiencia adquirida en los periodos de formación en la Escuela Naval Militar, la elaboración de las preguntas ha sido desarrollada con gran facilidad.

4.3 Diseño y programación

Como resultado del proceso de diseño y modelado, se ha obtenido un entorno virtual funcional en el que se recrea una estación de instrucción y adiestramiento estructurada en distintas áreas temáticas, que se organizan de forma coherente y ordenada.

Se ha logrado diseñar una distribución modular compuesta por varios edificios independientes y donde cada uno está destinado a un tipo específico de entrenamiento. Esta separación de los espacios en función de la formación que se desea alcanzar supone un aprendizaje por niveles, siendo uno de los objetivos del presente proyecto.

Durante el desarrollo del proyecto, los apartados de diseño y modelado del escenario y de programación lógica del simulador se han escrito de forma independiente para poder explicar más detalladamente los procesos empleados en cada uno de los elementos del escenario. Sin embargo, en el presente apartado de resultados ambos aspectos se presentan en el mismo apartado, ya que uno de los

objetivos principales del proyecto es la integración del diseño del entorno virtual y la programación de los elementos interactivos a través de *Blueprint*.

Este resultado es el que permite que el escenario proporcione una experiencia de gamificación efectiva, explicado en el apartado 2.4.1.1, donde los elementos visuales del escenario y los sistemas que han sido programados trabajan de manera conjunta para facilitar el aprendizaje y la interacción del usuario.

4.3.1 Caracterización del personaje

Empleando parte de la configuración del sistema base que ofrece *Unreal Engine*, se ha obtenido un personaje jugable en tercera persona completamente integrado dentro del entorno virtual del simulador. Este actor permite un control de movimiento libre por todo el escenario, con los controles básicos de videojuegos en PC (*Personal Computer*) o bien a través de la integración del mando de *Xbox*.

Además, el personaje cuenta con la rotación de la cámara en tercera persona y la interacción con todos los elementos del entorno. En la mayoría de los casos, todas las activaciones automáticas que tienen lugar en el escenario se han realizado mediante zonas de colisión, como puede ser la activación de *Widgets* para poder generar el sistema de evaluación y puntuación.

Para continuar, el personaje de trata del medio a través del cual el usuario puede interactuar con el sistema, es decir, no es solo un elemento visual que existe en el escenario, sino que es el elemento funcional que conecta los elementos principales de la ejecución del simulador, como es la activación de eventos y el sistema de evaluación.

Debido a esta funcionalidad del personaje, este será el que permita el movimiento virtual entre los distintos edificios, así como la activación de las preguntas en todos los compartimentos que se han diseñado a lo largo del nivel.

4.3.1.1 Diseño del personaje

Como resultado del proceso de diseño y modelado del personaje jugable, se ha obtenido la caracterización de un modelo que representa a un operador equipado con un traje de intervención contraincendios. El resultado final del diseño del traje contraincendios se muestra en la Figura 4-3.



Figura 4-3 Diseño final traje contraincendios (Autoría propia)

Asimismo, el objetivo de este diseño consiste en buscar la coherencia entre el personaje y el contexto del simulador. Por tanto, el traje que presenta el personaje está compuesto por un equipo de protección individual diseñado para operar en entornos con humo y de riesgo térmico.

Cabe destacar que se ha añadido un equipo de respiración autónomo (ERA), elemento que es fundamental en las operaciones de extinción de incendios en espacios confinados o con presencia de gases y humo. Además, se ha conseguido simular el equipamiento utilizado en el ámbito naval, específicamente, en las unidades de la Armada. De esta forma, el personaje no solo tiene una función de control dentro del simulador, sino que también ayuda a reforzar el realismo del entorno.

Seguidamente, en el escenario correspondiente al entrenamiento en defensa NRBQ, el personaje adopta automáticamente un modelo equipado con un traje de protección específico para este tipo de amenazas. Este cambio permite adaptar visualmente al usuario al entorno operativo simulado, reforzando la coherencia del entrenamiento y la inmersión en el escenario.

En la se muestra el personaje equipado con el traje NRBQ dentro del espacio de instrucción correspondiente. El modelo incluye el mono de protección, máscara con filtro y guantes, elementos característicos del equipamiento utilizado. Además, también se puede observar el punto de equipamiento del traje dentro del escenario.

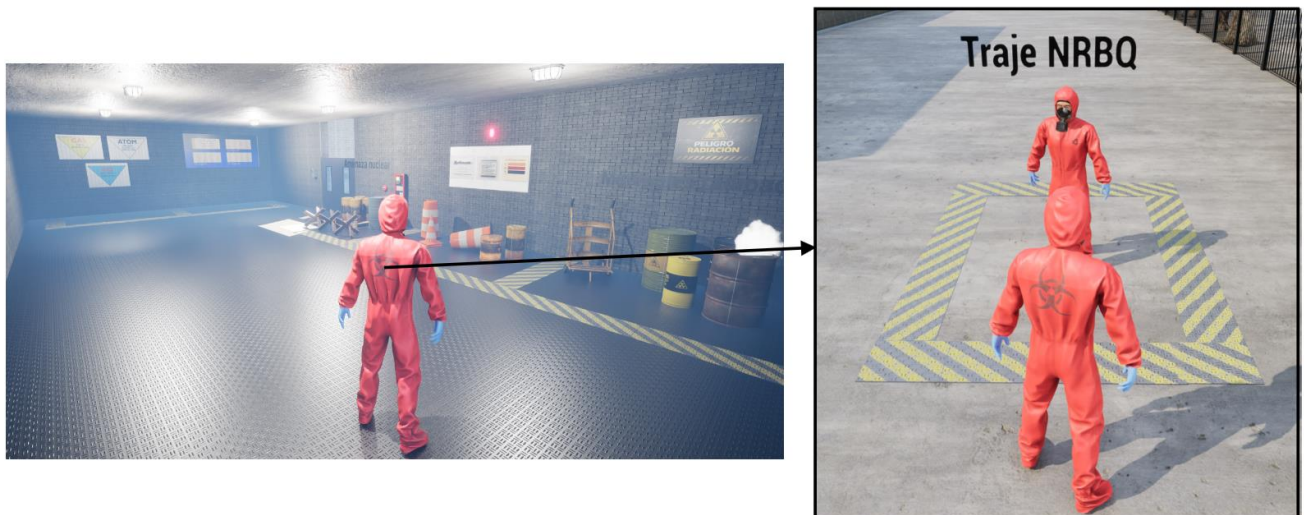


Figura 4-4 Resultado equipamiento traje NRBQ (Autoría propia)

Por tanto, el simulador no solo incorpora elementos interactivos, sino también componentes visuales que ayudan a aportar realismo a las diferentes fases del entrenamiento.

4.3.2 Diseño general del entorno

El resultado del diseño básico del escenario se refleja en la implementación de un escenario virtual completo y coherente con los objetivos que se han establecido en el presente proyecto. El entorno final, mostrado en la Figura 3-4, reproduce un espacio de entrenamiento estructurado en varias zonas, integrando de forma funcional los distintos edificios del simulador, facilitando el desplazamiento en todo el espacio y la correcta ejecución de todas las actividades de formación.

Gracias a la configuración de un HDRI (*High Dynamic Range Image*) que proporciona iluminación ambiental realista, permite generar una iluminación global natural sobre todos los elementos del escenario. Este elemento destaca especialmente con la representación dinámica de sombras sobre todos los actores del escenario, proporcionando un realismo que no puede alcanzarse usando elementos de iluminación artificial.

Seguidamente, se han incorporado exitosamente otros elementos para la ambientación y coherencia visual del escenario. Entre estos, se incluyen sistemas de iluminación dinámica, sistemas para

proporcionar agua y gas de forma simulada a los edificios que contienen incidencias de este tipo, y un amplio sistema de ventilación general que permite la exhaustación de gases y humos en los edificios, como se observa en la Figura 4-5.



Figura 4-5 Simulación de salida de humos (Autoría propia)

4.3.3 Estructuración del escenario

En primer lugar, se ha conseguido estructurar el escenario virtual como un entorno único dentro de un solo nivel de Unreal Engine, en el cual se han interconectado todos los edificios, permitiendo que tengan una lógica y una programación común.

Como resultado de esta estructuración, el escenario se ha organizado en cuatro zonas principales, cada una de ellas con un objetivo específico dentro de la simulación y con un gran número de sistemas programados que permiten representar distintas situaciones de entrenamiento relacionadas con la Seguridad Interior. Los próximos subapartados desarrollan los resultados y objetivos que han sido alcanzados en cada una de las cuatro áreas principales del escenario, centrándose en la integración conjunta de los elementos de diseño, junto con los sistemas programados a través de *Blueprint*.

4.3.3.1 Elementos generales de los edificios

Para poder informar al usuario del entorno en el que se encuentra y del progreso de la actividad, se ha conseguido incorporar un sistema de interacción, en el que cada vez que un personaje accede al área de un edificio, el sistema muestra automáticamente un mensaje de bienvenida en pantalla que identifica el edificio correspondiente, como se observa en la Figura 4-6.

Gracias a este mensaje, se consigue poner en contexto al usuario después de entrar en cada uno de los edificios. La lógica programada para ejecutar este sistema de identificación se redacta en el apartado 3.4.6.

Cabe destacar que, tras la visualización inicial del mensaje, se activa el sistema de puntuación asociado al edificio, el cual muestra el progreso del usuario dentro de la prueba correspondiente, como se muestra en la Figura 4-2.



Figura 4-6 Mensaje de bienvenida a los edificios (Autoría propia)

4.3.3.2 Zona inicial

La zona inicial es el resultado obtenido de la integración de un punto de partida de la simulación y un espacio de introducción al funcionamiento del simulador. En esta área el usuario aparece cuando comienza la simulación, permitiendo una primera toma de contacto con el entorno virtual, así como con los conceptos básicos relacionados con la Seguridad Interior y la lucha contraincendios.

Se han implementado varios *Widget* informativos en los que se muestran mensajes de bienvenida, las instrucciones de uso del simulador y otras explicaciones sobre los sistemas de evaluación y el contenido del escenario, los cuales se muestran en la Figura 4-7.

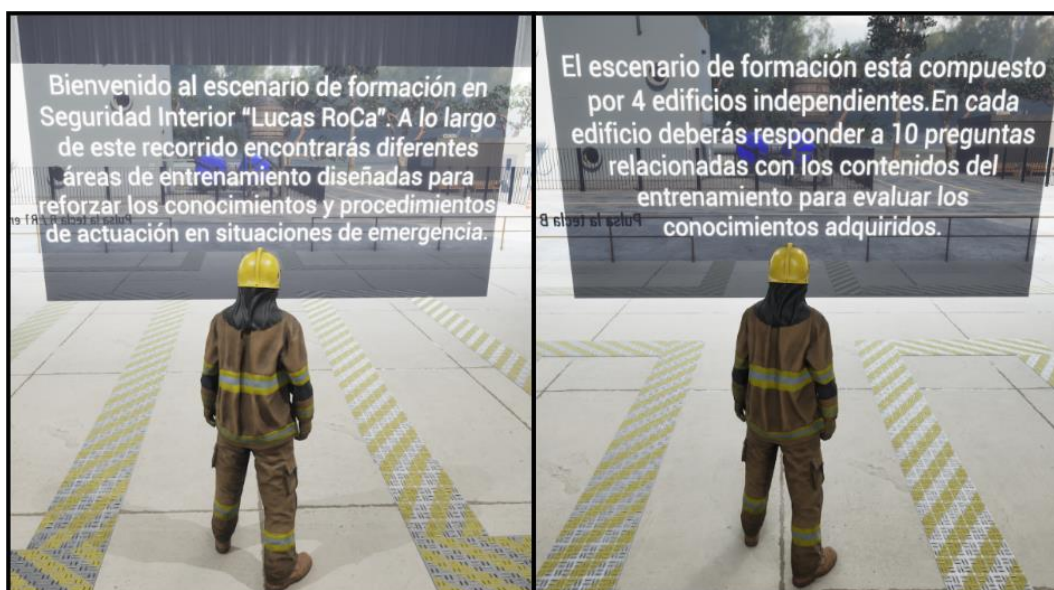


Figura 4-7 Mensajes de bienvenida e instrucciones (Autoría propia)

En la Figura 4-8 se observan los carteles informativos situados en la zona de iniciación, los cuales explican de forma visual las distintas clases de fuego y los tipos de agentes extintores adecuados en cada caso. Estos elementos permiten al usuario comprender de manera clara y rápida qué medio de extinción debe emplear en función del tipo de incendio, sirviendo como apoyo formativo dentro del entorno de simulación.

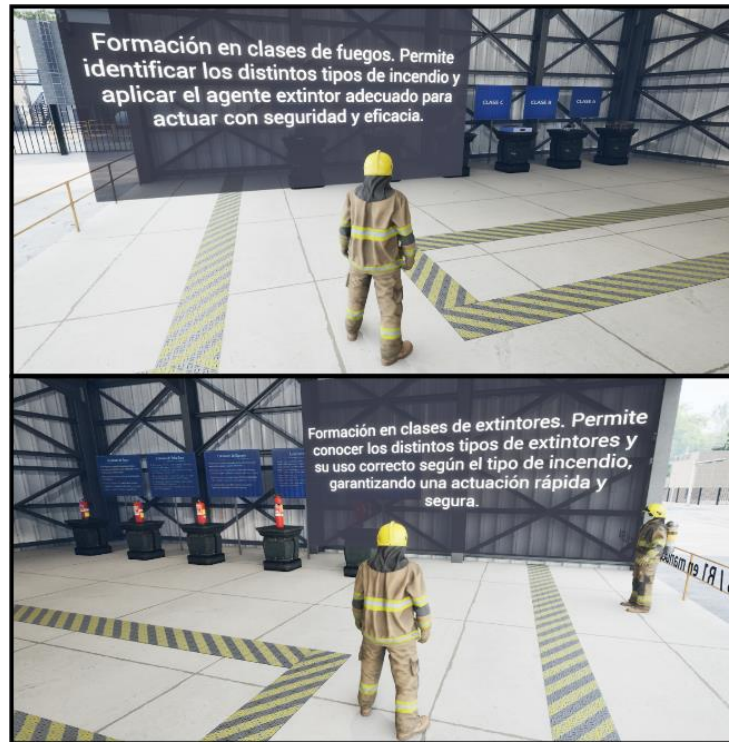


Figura 4-8 Clases de fuegos y medios de extinción (Autoría propia)

Por último, esta zona se trata del punto de partida de la simulación, siendo el lugar en el que el personaje aparece al comenzar la experiencia dentro del entorno virtual. Desde esta posición es donde el usuario obtiene una primera visión general del escenario y de las distintas áreas de entrenamiento que lo componen. En la Figura 4-9 se muestra el punto de partida real de la simulación.



Figura 4-9 Punto de partida del escenario (Autoría propia)

4.3.3.3 Edificio contraincendios

Como resultado del área de adiestramiento contraincendios, se han creado dos edificios orientados a la simulación de distintas incidencias relacionadas con humos e incendios en compartimentos cerrados. Además, las dos edificaciones representan las instalaciones típicas utilizadas en los ejercicios de entrenamiento contraincendios, los cuales se han diseñado con criterios constructivos comunes, como la estructura general, los sistemas de ventilación, agua y luz, las parrillas presentes en los compartimentos...

Desde el punto de vista de la programación, cada compartimento incorpora su propio sistema de activación de incidencias mediante Blueprints independientes, los cuales se activan a través de volúmenes de colisión que detectan la entrada del personaje en una zona concreta del compartimento. El sistema permite una interacción fluida, aunque presenta limitaciones en la simulación física avanzada de incendios, lo que podría mejorarse mediante motores específicos de fluidos.

Una vez activada la incidencia, el escenario muestra los efectos visuales de fuego y humo dentro del compartimento correspondiente, generando un entorno dinámico que permite al usuario interactuar con la situación de emergencia. La Figura 4-10 muestra distintos ejemplos del personaje dentro de los compartimentos del edificio contraincendios “Xavier Núñez”, donde pueden observarse las simulaciones de fuego activadas durante la experiencia de entrenamiento.

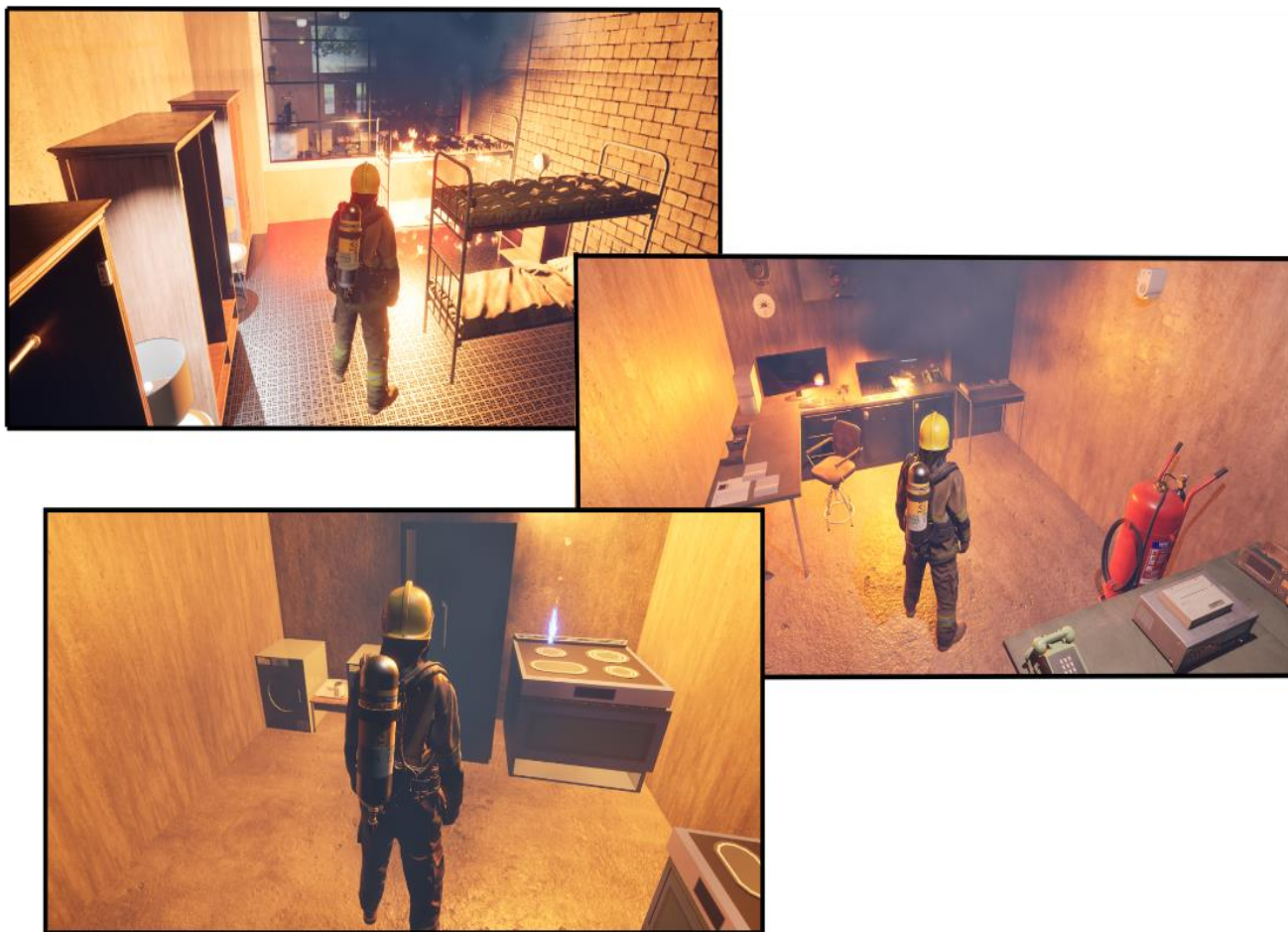


Figura 4-10 Incidencias en el edificio "Xavier Núñez" (Autoría propia)

En el edificio “Escuela Naval Militar”, se han representado las mismas incidencias, pero en espacios más reducidos y confinados. Se muestran varios ejemplos de fuegos en la Figura 4-11. A su vez, se observan los elementos contraincendios introducidos en el escenario para tratar de aportar un mayor realismo al escenario.



Figura 4-11 Incidencias en edificio "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)

Este tipo de escenarios permite recrear situaciones de propagación del fuego en espacios cerrados, simulando condiciones habituales en compartimentos de buques o instalaciones interiores.

Además de los edificios principales destinados al desarrollo de las pruebas de entrenamiento, se han incorporado distintos espacios adicionales relacionados con el ámbito contraincendios con el objetivo de mejorar la ambientación general del escenario y aportar mayor realismo al entorno de simulación, como se muestra en la Figura 4-12.



Figura 4-12 Espacios de ambientación contraincendios (Autoría propia)

En la primera imagen se observa un área exterior con depósitos de almacenamiento de agua, en la que se representan parrillas para generar fuegos simulados. Por otra parte, en la segunda imagen se representa un espacio interior destinado al almacenamiento de equipos contraincendios, donde se han incorporado estanterías con botellas de aire comprimido, equipamiento de intervención y material de seguridad.

4.3.3.4 Edificio control de averías

En el edificio de control de averías “Francisco Troncoso” se han implementado distintas incidencias relacionadas con la gestión de daños en compartimentos, debido a fugas de agua e inundaciones progresivas. Con estas situaciones se consiguen representar escenarios habituales a bordo de los buques de la Armada, donde el usuario debe identificar correctamente la incidencia y aplicar los procedimientos adecuados.

En las imágenes de la Figura 4-13, se puede observar algunos ejemplos de estas simulaciones dentro del entorno virtual. En la primera imagen se representa un compartimento en el que se simula una entrada de agua a través de una abertura del casco, generando una inundación progresiva del compartimento. Por otro lado, la segunda imagen muestra una fuga de agua en una tubería del sistema, donde la pérdida se produce a través de una válvula defectuosa. Este tipo de situación permite recrear averías comunes en los sistemas de distribución que se encuentran distribuidos por todo el barco, obligando al usuario a identificar la fuente de la fuga y aplicar las medidas de control correspondientes.



Figura 4-13 Incidencias en edificio "Francisco Troncoso" (Autoría propia)

Todas estas incidencias se activan dinámicamente durante la simulación mediante los sistemas de programación desarrollados con Blueprints, permitiendo que el escenario tenga reacción frente a la interacción del usuario.

4.3.3.5 Edificio defensa NRBQ

Como resultado del escenario desarrollado, se ha incluido un área dedicada a la defensa NRBQ (Nuclear, Radiológica, Biológica y Química), en la cual se representa una estación de descontaminación para el adiestramiento en procedimientos frente a ataques con riesgo radiológico o contaminante.

En la Figura 4-14, se muestra la estación de descontaminación, donde se ha diseñado una estructura dividida en distintas zonas de seguridad, siguiendo el modelo habitual de organización de este tipo de instalaciones según la doctrina correspondiente.



Figura 4-14 Estación de descontaminación NRBQ (Autoría propia)

El diseño de esta estación dentro del entorno virtual permite que el usuario identifique visualmente la organización de las distintas zonas y entienda el flujo de actuación que se debe seguir en este tipo de incidentes. Además, al igual que en el resto de edificios del escenario, este espacio se integra dentro del sistema de evaluación del simulador, permitiendo que el usuario responda a las preguntas relacionadas con procedimientos NRBQ durante la simulación.

4.3.4 Configuración *Widget Test*

Uno de los elementos principales del sistema de gamificación implementado en el escenario es el sistema de evaluación mediante preguntas interactivas, el cual se presenta al usuario a través de distintos *Widget* distribuidos por los edificios del simulador.

Este sistema se basa en el uso de un *Widget Blueprint*, que permite la presentación de las preguntas, las posibles respuestas y la actualización de la puntuación durante la simulación. Además, el *Widget* actúa como una interfaz visual que muestra la información al usuario, mientras que la lógica de funcionamiento y la gestión de variables se realizan a través de los Blueprints asociados al sistema de evaluación, desarrollados en el apartado 3.4.7.

Las preguntas se encuentran integradas dentro del escenario mediante planos interactivos, que se activan mediante un volumen de colisión. En caso de que el jugador abandone la zona de interacción, el sistema ejecuta la lógica contraria y el *Widget* desaparece automáticamente, para que el usuario no pueda interactuar con él fuera de su área correspondiente.

Como resultado del diseño del *Widget*, cada uno contiene una pregunta junto con tres posibles respuestas. La selección de la respuesta se realiza mediante las acciones de entrada configuradas en el sistema de *Action Mapping*, explicado en el apartado 3.4.8, las cuales están asociadas a las teclas o botones del mando correspondientes. En cada uno de los *Widget*, se han definido tres acciones de respuesta, relacionadas con las tres opciones disponibles, permitiendo que el jugador responda a las preguntas durante el recorrido por el escenario.

Además, el sistema permite reutilizar el mismo *Widget* para diferentes preguntas, donde solo hay que modificar los datos de entrada que se definen dentro del nivel en cada plano del escenario. Gracias a esto, se ha implementado un conjunto de 40 preguntas distribuidas entre los distintos edificios, manteniendo siempre la misma estructura.

Las imágenes de la Figura 4-15, muestran distintos ejemplos del sistema de preguntas implementado en los compartimentos del edificio contraincendios. En ellas se puede observar al personaje

interactuando con los paneles de evaluación mientras se desarrolla una incidencia simulada de fuego dentro del compartimento.



Figura 4-15 Widget en edificio "Xavier Núñez" (Autoría propia)

En la Figura 4-16, se muestran ejemplos de preguntas situadas en el área de control de averías, donde se representan incidencias relacionadas con fugas de agua e inundaciones en compartimentos.



Figura 4-16 Widget en edificio "Francisco Troncoso" (Autoría propia)

En las imágenes de la Figura 4-17, se muestran las preguntas situadas en zonas de entrenamiento contraincendios más avanzadas, donde se representan fenómenos como el desarrollo de incendios en compartimentos cerrados, como el *flashover*. En estas situaciones el usuario debe identificar correctamente el fenómeno observado o el procedimiento adecuado, respondiendo a la pregunta mostrada en el panel interactivo mientras se visualiza la simulación del incendio dentro del escenario.



Figura 4-17 Widget en edificio "Escuela Naval Militar" (Autoría propia)

En el edificio destinado al adiestramiento en defensa NRBQ se integran distintos widgets interactivos que permiten evaluar los conocimientos del usuario durante el recorrido por el escenario. Como se observa en la Figura 4-18, al aproximarse a los diferentes puntos del edificio aparecen preguntas tipo test relacionadas con procedimientos NRBQ, como la identificación de amenazas radiológicas o las fases del proceso de descontaminación.

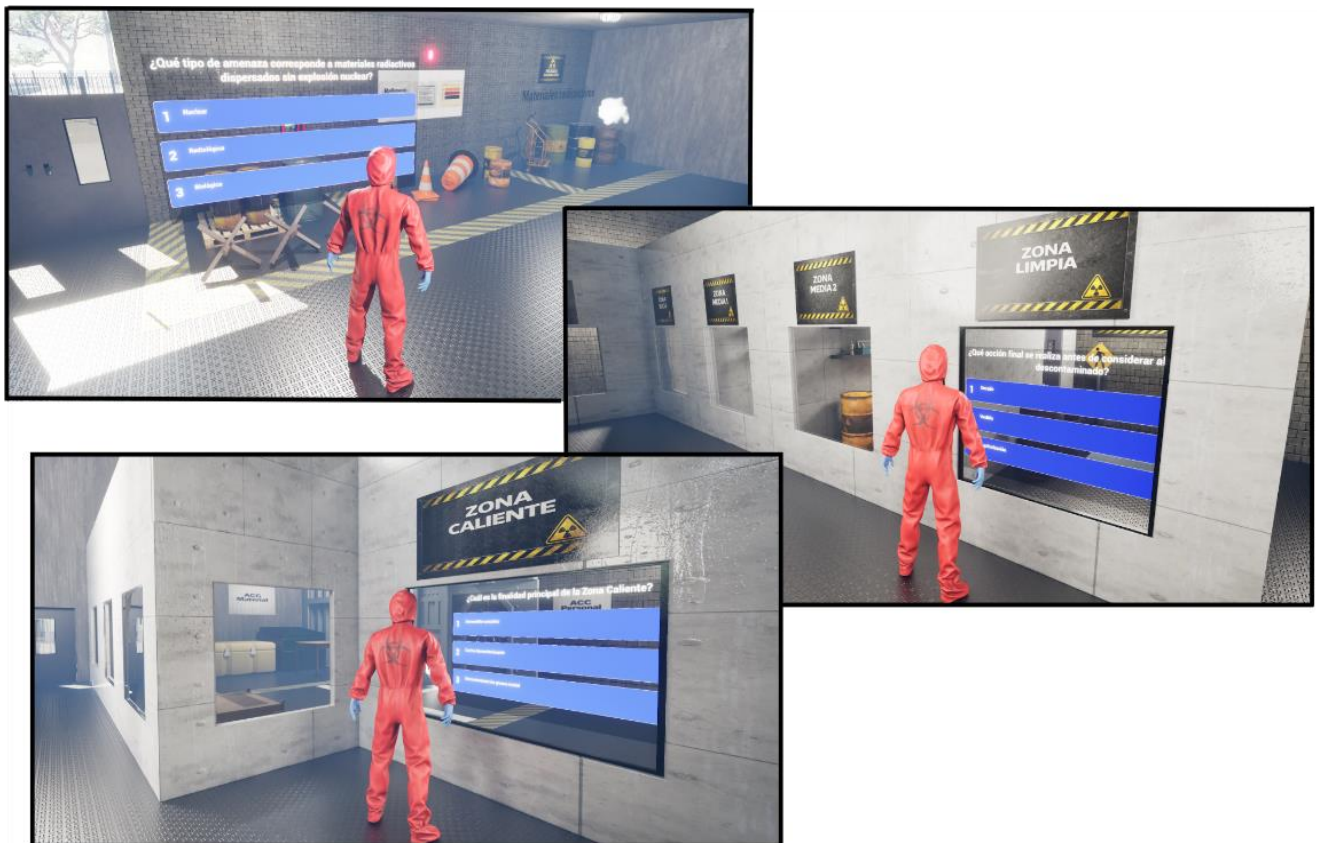


Figura 4-18 Widget en edificio de defensa NRBQ (Autoría propia)

Todas las imágenes que se muestran en las figuras de este apartado representan *Widgets* que se muestran directamente en el entorno 3D del escenario, permitiendo al jugador interactuar con ellos mientras mantiene la inmersión en la simulación.

4.3.4.1 Interfaz del usuario

En relación con la interfaz de usuario del simulador, se ha desarrollado un *Widget* gráfico mediante *Blueprints* que permite presentar al jugador las distintas incidencias que pueden producirse durante la simulación. La Figura 4-19 muestra el diseño final del widget implementado dentro del motor gráfico.

El *Widget* se compone de tres paneles horizontales principales, que se estructuran de forma que pueden mostrar las diferentes situaciones, en forma de respuestas de múltiple elección, que el usuario debe gestionar a lo largo del escenario. Cada uno de estos paneles, como el resto de bloques de la interfaz, puede activarse dinámicamente en función de la situación y durante la ejecución de la simulación.

Además, en la parte izquierda del panel existen varios bloques para la representación de elementos gráficos o iconos identificativos, que permiten representar visualmente cuál es el número de respuesta que se tiene que seleccionar, o en caso de usar el mando, cuál es el icono correspondiente a cada una de las respuestas.

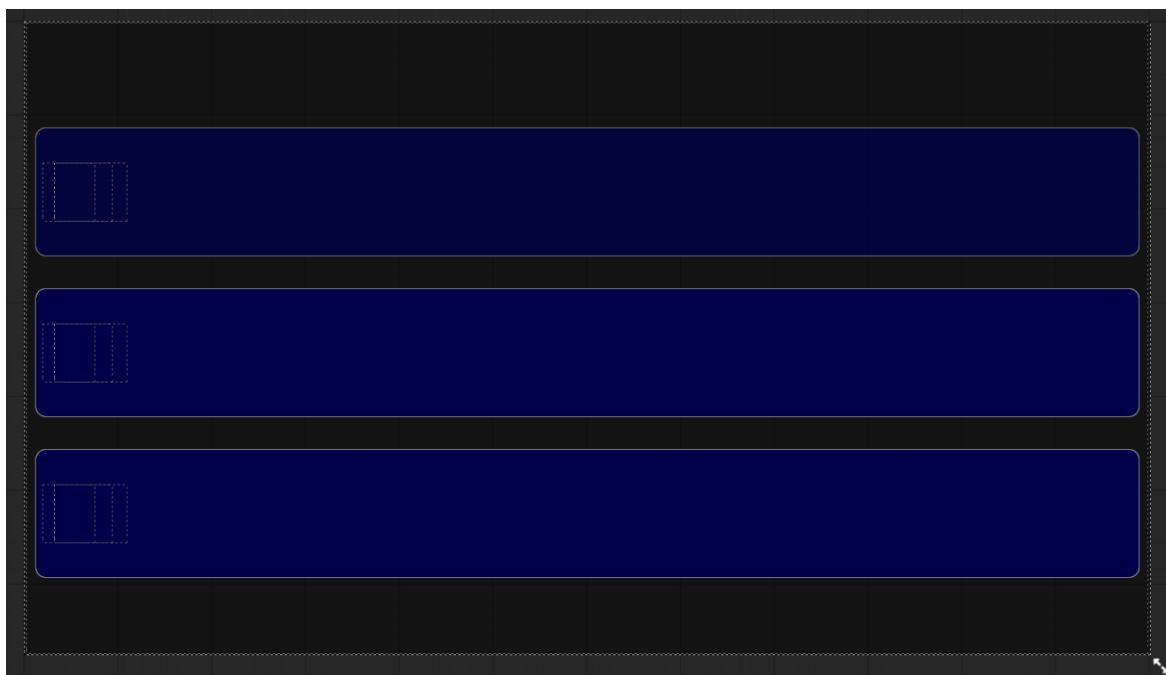


Figura 4-19 Diseño final del Widget (Autoría propia)

Por último, la parte superior del panel, pese a no observarse de forma visual, es un bloque variable donde se representa la pregunta test correspondiente. Al igual que las respuestas y los iconos, este bloque de texto se actualiza dinámicamente en función de la situación en la que se encuentre el usuario.

4.3.5 Simulación con mando de control

Una vez implementada la configuración del mando de control dentro del entorno de la simulación, se procedió a realizar pruebas de funcionamiento con el objetivo de comprobar la correcta interacción entre el usuario y el escenario virtual desarrollado.

La configuración del mando permite al usuario desplazarse por el entorno, interactuar con los diferentes elementos del escenario y responder a las preguntas planteadas durante la simulación. Durante las pruebas realizadas se comprobó que los comandos asignados al mando, a través de los *InputAction*

desarrollados en el apartado 3.4.8, se ejecutan correctamente, permitiendo un control fluido del personaje dentro del entorno virtual.

En la Figura 4-20, se puede observar un ejemplo de uso del sistema, en el que el usuario interactúa con el simulador mediante el mando de control, mientras se va desarrollando la simulación en el escenario.

Durante la ejecución de la simulación, el usuario puede desplazarse por el escenario, observar los distintos elementos del entorno y acceder a los diferentes edificios donde se plantean las preguntas del sistema de evaluación, con el objetivo de completar las 40 preguntas del escenario de la mejor manera posible.



Figura 4-20 Usuario ejecutando la simulación con mando (Autoría propia)

Además, para complementar la visualización de los resultados obtenidos, se incluye un vídeo demostrativo del funcionamiento del escenario, donde se puede observar el recorrido completo por el entorno desarrollado y el uso del mando de control durante la simulación.

El vídeo desarrollado muestra la simulación completa del escenario diseñado, reproduciendo el desarrollo completo de una sesión de entrenamiento tal y como se llevaría a cabo en condiciones reales. En él se recoge la totalidad del proceso, desde el inicio hasta la finalización de la simulación, permitiendo visualizar de forma continua el funcionamiento del entorno, la interacción del usuario y la secuencia de

eventos planteada durante todo el escenario. Se puede acceder al video completo pinchando “[aquí](#)”, o en la Figura 4-21, en el icono de *YouTube*.



Simulación completa TFG Lucas Rodríguez

Figura 4-21 Video simulación completa (Autoría propia)

En el vídeo subido a *YouTube*, se han incorporado en la descripción una serie de marcas temporales (*timestamps*) que permiten estructurar el contenido en función de los distintos edificios y zonas que componen el escenario desarrollado. Cada una de estas referencias temporales corresponde a un área específica del simulador, facilitando el acceso directo a los diferentes entornos de entrenamiento sin necesidad de visualizar el vídeo de forma secuencial.

Esta organización del contenido permite al usuario identificar de manera clara los distintos bloques del escenario, pudiendo seleccionar de forma rápida el apartado que desea analizar, ya sea la zona inicial, los edificios de contraincendios, las áreas de control de averías o los espacios destinados a procedimientos NRBQ.

Además, esta estructura facilita la revisión y evaluación del proyecto, ya que permite acceder de forma directa a cada una de las funcionalidades implementadas en el simulador, sirviendo como apoyo visual complementario a la memoria escrita. En conjunto, la inclusión de estas marcas temporales contribuye a una mejor comprensión global del funcionamiento del sistema y a una presentación más clara y organizada de los resultados obtenidos.

4.3.6 Visualización 360° del escenario

En este apartado se presenta la imagen equirrectangular generada del escenario virtual, la cual permite una visualización completa en 360° del entorno desarrollado, mostrada en la Figura 4-22, Esta representación facilita la exploración interactiva del escenario, permitiendo al usuario observar todos los elementos desde un único punto de vista y obtener una comprensión global del entorno simulado.

Cabe destacar que, en el apartado 4.3.6 del presente proyecto, se ha descrito de forma detallada el procedimiento seguido para la generación de esta imagen, incluyendo las herramientas empleadas, la configuración del sistema de captura y los parámetros de renderizado utilizados.



Figura 4-22 Captura equirrectangular estática (Autoría propia)

La visualización del escenario panorámico desarrollado puede realizarse a través de dos modos principales, en función del dispositivo empleado por el usuario. En primer lugar, se dispone de una versión accesible desde un ordenador, mediante una plataforma web que permite la exploración interactiva del entorno de forma online. A través de esta opción, el usuario puede acceder al escenario completo mediante un enlace directo, desde el cual es posible modificar el punto de vista y analizar con detalle los distintos elementos que lo componen.

La interfaz de *Momento360* en ordenador presenta un diseño visual e intuitivo que facilita la exploración del entorno virtual mediante imágenes panorámicas, tal y como se muestra en la Figura 4-23. En la parte inferior se sitúa una barra de navegación con miniaturas de las distintas escenas, permitiendo al usuario desplazarse de forma rápida entre los diferentes puntos del recorrido. Además, se incluyen controles interactivos como flechas de navegación y opciones de visualización que mejoran la experiencia de uso.

En la zona central se muestra la escena panorámica en 360°, donde el usuario puede interactuar directamente con el entorno mediante el ratón, explorando el espacio desde diferentes perspectivas. Asimismo, la interfaz permite integrar elementos informativos y puntos de interés que mejoran la experiencia y facilitan la comprensión del escenario.

En conjunto, la plataforma ofrece una experiencia fluida y accesible, combinando simplicidad de uso con funcionalidades interactivas, lo que permite una visualización óptima y realista del escenario virtual interactivo que se ha desarrollado en el presente proyecto. Cabe destacar que las imágenes panorámicas que se han escogido para la representación en 360° capturan los elementos y espacios más representativos de cada uno de los edificios del escenario, sin embargo, en el escenario se cuenta con numerosos espacios en los cuales se representan de forma óptima las incidencias de Seguridad Interior propias de los buques de la Armada.

Se puede acceder a la visualización online del escenario pinchando “[aquí](#)”, o en la Figura 4-23.

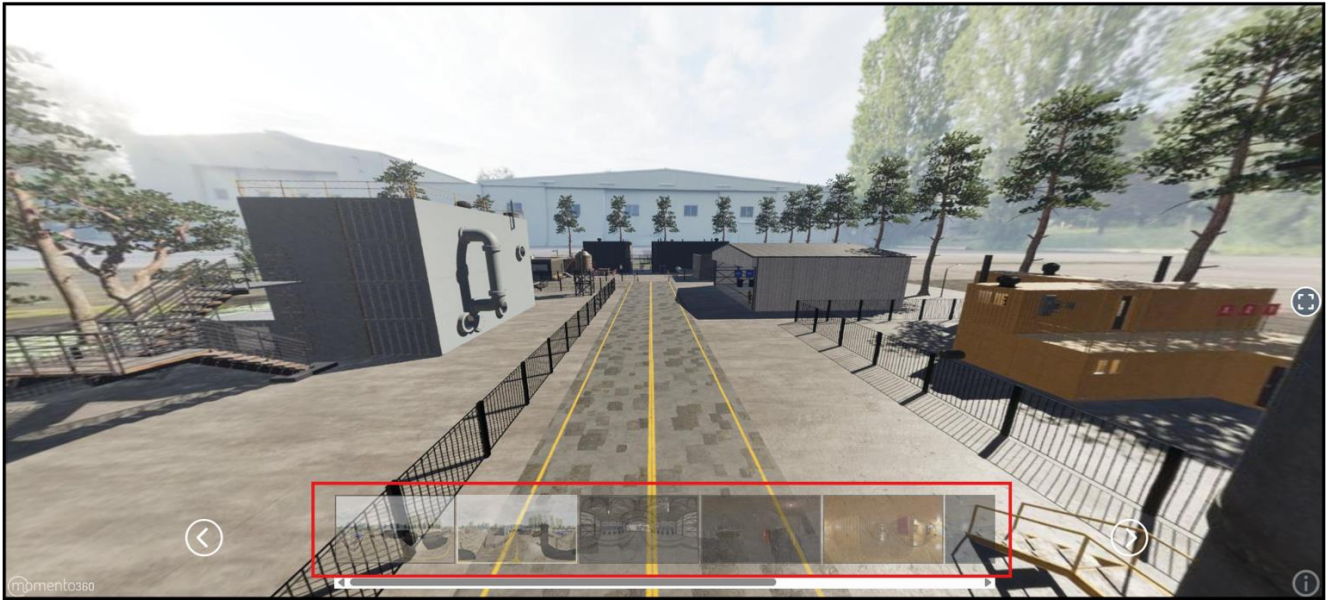


Figura 4-23 Interfaz de Momento360 en ordenador (Autoría Propia)

Por otro lado, el escenario también puede visualizarse desde dispositivos móviles, ofreciendo una experiencia interactiva e inmersiva. En este caso, el acceso se realiza mediante el escaneo de un código QR, de la Figura 4-24, que dirige al usuario a la misma representación panorámica del entorno. Esta modalidad facilita una visualización rápida y accesible, permitiendo explorar el escenario en cualquier lugar y sin necesidad de utilizar un ordenador.



Figura 4-24 Código QR visualización 360 (imagen generada por IA (ChatGPT 5.2))

Además, la interfaz en dispositivos móviles está optimizada para pantallas táctiles, permitiendo la navegación mediante gestos como el deslizamiento o el zoom. Los elementos interactivos se adaptan automáticamente al tamaño de la pantalla, garantizando una correcta visualización. El acceso mediante código QR simplifica la entrada al escenario, de forma que se puede obtener una visión más certera y

realista del escenario virtual interactivo. Asimismo, la aplicación móvil utiliza el giroscopio del dispositivo para realizar el seguimiento de la orientación, permitiendo al usuario explorar el entorno de forma interactiva mediante el movimiento del propio terminal.

En ambas opciones, el usuario dispone de herramientas que permiten la navegación en 360°, así como la observación detallada de cada una de las zonas del escenario. Tanto en la versión web como en la accesible mediante QR, se pueden identificar los distintos espacios y elementos desarrollados, facilitando una comprensión global del entorno y mejorando la experiencia de análisis del mismo.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Descripción del apartado

En este apartado final se presentan las conclusiones obtenidas tras el desarrollo completo del proyecto. Para ello, se realiza en primer lugar un repaso de las principales fases del trabajo, analizando el grado de cumplimiento de los objetivos planteados al inicio del mismo, en el apartado 1.4.

Seguidamente, se exponen las conclusiones de los distintos apartados en los que se ha dividido el proyecto, tratando aspectos como el diseño del escenario, su modelado tridimensional, la programación de las acciones y comportamientos del sistema, así como la implementación de elementos de gamificación con el objetivo de mejorar el proceso de aprendizaje del usuario.

Finalmente, se presenta una conclusión global del trabajo en la que se evalúa el éxito alcanzado en el cumplimiento de los objetivos iniciales y secundarios, y se reflexiona sobre la utilidad real del simulador en el ámbito de la Seguridad Interior en los centros de formación.

5.2 Conclusiones

5.2.1 Conclusiones previas

El presente trabajo ha permitido desarrollar un simulador virtual interactivo orientado a la instrucción en Seguridad Interior. A lo largo del proyecto se han ido alcanzando los objetivos planteados en el inicio del mismo, tanto el objetivo principal como los diferentes objetivos secundarios definidos.

En primer lugar, se ha desarrollado un escenario virtual interactivo basado en conceptos de Seguridad Interior y que puede servir como herramienta de instrucción para el personal de la Armada. Además, el escenario ha sido realizado para reproducir situaciones realistas en las que el usuario debe enfrentarse a distintas incidencias que pueden afectar a la seguridad de una unidad o instalación.

Asimismo, se ha logrado realizar el modelado tridimensional completo del entorno, creando un espacio virtual que reproduce de forma creíble diferentes zonas de un escenario urbano, existente en el mundo real, y en el que se desarrollan las acciones del simulador.

Otro aspecto relevante ha sido la programación de los diferentes elementos interactivos del escenario, así como la implementación de un sistema de evaluación automática que permite analizar las decisiones tomadas por el usuario durante la simulación, facilitando la labor del instructor a la hora de valorar los resultados del alumno.

Finalmente, destaca la incorporación de elementos de gamificación, con el objetivo de aumentar la motivación del usuario durante el proceso de aprendizaje, como se explica en los siguientes apartados.

5.2.2 El escenario

El principal elemento del proyecto es el escenario virtual sobre el que se desarrolla la simulación, el cual ha sido diseñado para reproducir un entorno operativo creíble y que permita al usuario enfrentarse a situaciones similares a las que podría encontrar en un contexto real.

Para el diseño de este entorno se han tenido en cuenta varios aspectos. Primeramente, desde un punto de vista técnico, se ha buscado crear un espacio virtual estructurado que facilite la navegación del usuario y la integración de distintas incidencias dentro del mismo. En segundo lugar, desde el punto de vista de la enseñanza, el escenario ha sido planteado como un entorno de entrenamiento que permite evaluar la capacidad de reacción del jugador ante diferentes situaciones.

Para acabar, el entorno virtual permite recrear situaciones tácticas en las que el usuario debe analizar el contexto, identificar posibles amenazas y tomar decisiones de forma rápida, simulando el escenario que se viviría en un buque real de la Armada.

5.2.3 Diseño y modelado

El proceso de diseño y modelado del escenario ha sido una fase clave dentro del desarrollo del proyecto, ya que ha permitido materializar visualmente el entorno en el que se desarrolla la simulación.

Mediante las herramientas de diseño y modelado que ofrece el motor gráfico, se ha construido un entorno tridimensional compuesto por distintos edificios y objetos interactivos. Además, la estructuración del escenario en distintos espacios ha permitido organizar el entorno para facilitar tanto su desarrollo como su posible ampliación en futuras versiones del proyecto.

El modelado tridimensional del escenario también ha permitido que se puedan incorporar elementos visuales para reforzar el realismo del entorno, como los sistemas de ventilación o las redes de agua y gas dispuestas a lo largo del escenario, aproximando más la experiencia a la realidad operativa de las unidades.

5.2.4 Programación

Junto con el diseño y modelado del escenario, la programación del sistema ha constituido otro de los elementos esenciales del proyecto. A través del diseño de árboles lógicos mediante Blueprint, se han implementado nodos y otros componentes interactivos que han conseguido aportar al escenario virtual de una lógica de funcionamiento que permite al usuario interactuar con el entorno.

Uno de los aspectos más relevantes de la fase de programación ha sido poder dotar al personaje de una lógica que simule el comportamiento de manera óptima. Además, se ha desarrollado la lógica necesaria para que tengan lugar las diferentes acciones del usuario dentro del escenario, así como los eventos que se producen durante el desarrollo de la simulación. Toda esta programación ha sido explicada detalladamente en el apartado de desarrollo del presente proyecto.

Finalmente, la programación del escenario también ha permitido implementar un complejo sistema de evaluación y puntuación, a través de 40 interfaces de usuario interactivas, dispuestas entre los 4 edificios principales del escenario, permitiendo analizar el desempeño del usuario en la simulación.

5.2.5 Gamificación

Como elemento más relevante del proyecto, ya que se trata de uno de los principales objetivos que se consiguen, ha sido la incorporación de técnicas de gamificación dentro del simulador.

Como se detalla en el apartado 2.4.1.1, la gamificación consiste en la aplicación de mecánicas propias de los videojuegos en contextos educativos o formativos con el objetivo de aumentar la motivación y la implicación del usuario. En el caso de este proyecto, la gamificación se ha expuesto mediante la creación de un sistema interactivo en el que el jugador debe hacer frente a una serie de incidencias, con sus respuestas correspondientes, dentro del escenario virtual.

Gracias al empleo de este tipo de sistemas de evaluación, se transforma el proceso de aprendizaje en una experiencia más activa y participativa, ayudando a mejorar la retención de conocimientos y el desarrollo de habilidades en la toma de decisiones bajo presión. Además, debido al sistema de juego implementado, se genera un entorno de entrenamiento en el que el alumno puede cometer errores y aprender de ellos sin necesidad de que existan consecuencias reales.

Por todo lo desarrollado anteriormente, la gamificación se presenta como una herramienta altamente adecuada para el adiestramiento en entornos como el militar, ya que la toma de decisiones de manera rápida y correcta es fundamental.

5.2.6 Conclusión final

A lo largo del desarrollo del proyecto se han alcanzado satisfactoriamente los objetivos planteados, tanto en el modelado tridimensional del escenario como en la programación de sus componentes interactivos y en la implementación de sistemas de evaluación y gamificación, logrando así un entorno virtual coherente con los fines formativos establecidos.

El simulador del presente proyecto es una herramienta de gran potencial para su utilización en centros de formación, ya que permite recrear situaciones realistas en un entorno controlado, facilitando así el aprendizaje de procedimientos y la toma de decisiones por parte del usuario.

Asimismo, con el empleo de tecnologías de simulación y de gamificación se demuestra que se trata de una vía eficaz para conseguir mejoras en los procesos de instrucción, permitiendo desarrollar nuevas metodologías más avanzadas y con una enseñanza más dinámica.

En resumen, el proyecto manifiesta el gran potencial que tienen las tecnologías de simulación como herramientas de apoyo para la interacción y el adiestramiento de las Fuerzas Armadas, y especialmente, de la Armada. Además, contribuye a la mejora de la preparación operativa del personal y optimiza los procesos anticuados de formación.

5.3 Líneas futuras

Por último, una vez alcanzados los objetivos del presente proyecto, se deben analizar las posibles mejoras y desarrollos futuros que permitirían mejorar las capacidades del simulador. Para redactar estas líneas de evolución, se han diferenciado dos horizontes temporales distintos: a corto plazo y a largo plazo.

5.3.1 A corto plazo

Como primera línea futura del proyecto, sería conveniente continuar desarrollando este tipo de trabajos orientados al diseño de simuladores de entrenamiento, con el objetivo de alcanzar niveles de simulación cada vez más avanzados. Darle continuidad a este tipo de proyectos permitiría perfeccionar progresivamente el escenario virtual desarrollado, incorporando nuevas funcionalidades, ampliando los entornos existentes y mejorando la calidad general del sistema. De este modo, una de las mejoras más inmediatas sería la ampliación del uso del simulador más allá de la instrucción y orientarlo hacia el adiestramiento operativo del personal. Mientras que el presente trabajo se ha centrado principalmente en la instrucción del personal en conceptos básicos de Seguridad Interior, el desarrollo futuro del simulador podría permitir la realización de ejercicios más complejos orientados al entrenamiento táctico del personal.

Asimismo, sería recomendable continuar mejorando el realismo gráfico del escenario, mediante la incorporación de modelos tridimensionales más detallados, texturas de mayor calidad, un mayor número de mallas estáticas y de mayor realismo y sistemas avanzados de iluminación, entre otros. Con este aumento del realismo virtual, se permitiría recrear situaciones más próximas a la realidad que se vive en las unidades de la Armada, facilitando un mayor aprendizaje de los conocimientos adquiridos durante la simulación.

Como línea futura, se propone profundizar en el desarrollo de la interacción entre el usuario y el entorno virtual, incorporando nuevos elementos interactivos, aumentando el número de incidencias que pueden producirse durante la simulación y mejorando los sistemas de evaluación automática del desempeño del usuario. Desde un punto de vista generalista, todas las líneas a corto plazo residen en una mejor optimización de la programación de la simulación, tanto en el comportamiento del personaje como en la gestión de los eventos que se producen durante la simulación del escenario.

5.3.2 *A largo plazo*

Fijándose en una línea temporal más amplia, el desarrollo futuro del simulador debería buscar la creación de un sistema capaz de reproducir las consecuencias provocadas por las decisiones tomadas por el usuario durante la simulación. Debido a esto, uno de los principales objetivos de evolución sería lograr que las acciones del jugador tengan impacto directo en el desarrollo del escenario, generando efectos que modifiquen el estado del entorno virtual. Esto permitiría que algunas de las decisiones desencadenasen eventos como explosiones, pérdidas de compartimentos, accidentes operativos o incluso la neutralización o muerte de personajes presentes en la simulación. Con la incorporación de este tipo de sistemas, se aumentaría en gran medida el realismo del sistema, ya que el usuario estaría obligado a responder con mayor precaución las preguntas propuestas, para evitar consecuencias negativas debidas a su decisión.

Conjuntamente con la incorporación de un sistema reactivo ante las decisiones del usuario, también se podrían ampliar los conceptos con la incorporación de elementos de formación en mando y control, así como la seguridad en operaciones de vuelo aplicados al ámbito de la Seguridad Interior.

Otra mejora del sistema consiste en permitir la participación simultánea de múltiples usuarios dentro del mismo escenario virtual y en el mismo momento, que estarían controlados por distintos usuarios y permitiría llevar a cabo ejercicios conjuntos.

Finalmente, la evolución de este tipo de simuladores podría permitir su integración dentro de los sistemas de instrucción y adiestramiento de las Fuerzas Armadas, constituyendo una herramienta que se complementa con el entrenamiento tradicional.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. V. Travez Tipan y C. M. Villafuerte Garzon, «Industria 5.0, revisión del pasado y futuro de la producción y la industria», *Cienc. Lat. Rev. Científica Multidiscip.*, vol. 7, n.º 1, pp. 1059-1070, enero 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i1.4457.
- [2] H. Lasi, P. Fettke, H.-G. Kemper, T. Feld, and M. Hoffmann, «Industry 4.0», *Bus. Inf. Syst. Eng.*, vol. 6, n.º 4, pp. 239-242, agosto 2014, doi: 10.1007/s12599-014-0334-4.
- [3] L. A. Pérez-Domínguez, «Las principales tecnologías de la era de la Industria 5.0», *Rev. Ingenio*, vol. 21, n.º 1, pp. 60-70, enero 2024, doi: 10.22463/2011642X.4352.
- [4] Ministerio de Defensa, Secretaría de Estado de Defensa, «Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID-2020».
- [5] R. D. InfoDefensa, «La transformación digital y el sostenimiento 4.0 en la Armada», Infodefensa. Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3118233/transformacion-digital-sostenimiento-40-armada>
- [6] J. C. Cortina, «El centro de instrucción de seguridad interior de la Armada: siempre un aliado», *Revista General de Marina*, 2021.
- [7] Eviciti, «Industria 4.0: la 4.ª Revolución Industrial». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.eviciti.com.mx/blog-post/bienvenido-a-la-industria-4-0-la-cuarta-revolucion-industrial/>
- [8] A. Vallés Sallés, «Enseñanza naval y entorno 4.0», *Revista General de Marina*, agosto-septiembre 2018.
- [9] Armada, «D-CP-01 B», Manual doctrinal de Seguridad Interior a bordo, noviembre 2021.
- [10] A. Hernández de la Fuente, «Nueva doctrina de Seguridad Interior D-CP-01 (B)» *Revista general de marina*, 282/1, enero-febrero 2022. Accedido: 28 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2022/01/rgmene2022cap09.pdf>
- [11] R. V. Caro, «Diseño y Construcción de un Buque de Guerra moderno», Fundación Exponav en Ferrol. Accedido: 27 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://exponav.org/blog/construccion-naval/disen-y-construccion-de-un-buque-de-guerra-moderno/>
- [12] R. Villa Caro, «Proyecto de diseño y construcción de un buque de guerra moderno», *Revista General de Marina*, marzo 2025.

- [13] OMI, «All IMO content (premium subscription)», Accedido: 18 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://imo-epublications.org>.
- [14] E. Casanova Rivas, *Máquinas para la propulsión de buques*. La Coruña: Universidade da Coruña, Servicio de Publicacións, 2001.
- [15] Foro Naval, «la adaptabilidad de los buques principales de la armada en buques hospitales en caso de necesidad durante la pandemia del coronavirus». Accedido: 28 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://foronaval.com/2020/04/24/la-adaptabilidad-de-los-buques-principales-de-la-armada-en-buques-hospitales-en-caso-de-necesidad-durante-la-pandemia-del-coronavirus/>.
- [16] Armada, «I-CP-04 (CAMBIO 1)», Técnicas y materiales de defensa NBQR, diciembre 2023.
- [17] M. St, «Fire Prevention and Mitigation Measures Onboard Large Passenger Ships», 2021.
- [18] Juan C. Arcioni, «Los riesgos del fuego en aparatos eléctricos y los materiales sintéticos autoextinguibles». Accedido: 28 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://editores.com.ar/sites/default/files/ie313_arcioni_liuzzi_fuego_aparatos_electricos.pdf
- [19] Armada, «I-CP-01 (A)», Técnicas y materiales de contraincendios, diciembre 2014.
- [20] Foro Naval, «El naufragio de la fragata noruega HNoMS Helge Ingstad (F-313)», Accedido: 2 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://foronaval.com/2019/01/28/el-naufragio-de-la-fragata-noruega-hnoms-helge-ingstad-f-313/>
- [21] J. I. Håvold, «Safety-culture in a Norwegian shipping company», *J. Safety Res.*, vol. 36, n.º 5, pp. 441-458, ene. 2005, doi: 10.1016/j.jsr.2005.08.005.
- [22] D. Vassalos y D. Paterson, «Reconfiguring Passenger Ship Internal Environment for Damage Stability Enhancement», *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 8, n.º 9, p. 693, sep. 2020, doi: 10.3390/jmse8090693.
- [23] Armada, «I-CP-02 (A)», Técnicas y materiales de control de averías, marzo 2014.
- [24] Armada, «D-CP-04», Manual doctrinal de defensa NBQR a bordo, febrero 2014.
- [25] F. J. G. Gómez, «La defensa NBQ (una aplicación conjunta)», *Revista General de Marina*, enero 2017.
- [26] B. C. Sánchez, «Operaciones navales NBQ-R», Instituto Español de Estudios Estratégicos, octubre 2011.
- [27] The European Space Agency, «kernel (20)». Accedido: 18 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.esa.int/Education/Serious_games
- [28] Ministerio de Defensa, «Monografías del SOPT. Jornada tecnológica: simulación en el ámbito de la defensa», diciembre 2018.
- [29] J. D. Fletcher, «Education and Training Technology in the Military», *Science*, vol. 323, n.º 5910, pp. 72-75, ene. 2009, doi: 10.1126/science.1167778.
- [30] C. Sennersten, «Model-based Simulation Training Supporting Military Operational Processes», 2010, Accedido: 07 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-00469>
- [31] M. Baldauf, D. Dalaklis, and A. Kataria, «Team training in safety and security via simulation: a practical dimension of maritime education and training», *INTED2016 Proc.*, pp. 8519-8529, 2016, doi: 10.21125/inted.2016.0983.

- [32] M. A. Nivelá-Cornejo, O. E. Otero-Agreda y E. F. Morales-Caguana, «Gamificación en la educación superior», *Rev. Publicando*, vol. 8, n.º 31, pp. 165-176, ene. 2021, doi: 10.51528/rp.vol8.id2242.
- [33] R. S. Contreras, «Experiencias de gamificación en las aulas». Bellaterra: Institut de la Comunicació, Universitat Autònoma de Barcelona, 2017.
- [34] S. Deterding, D. Dixon, R. Khaled, and L. Nacke, «From game design elements to gamefulness: defining 'gamification'», in *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, in *MindTrek '11*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Sep. 2011, pp. 9-15. doi: 10.1145/2181037.2181040.
- [35] Armada, «La Armada inaugura el Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior en la Base Naval de Rota - Noticias de la Armada - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 4 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosnoticias/pr efLang-es/00noticias--2013--07>
- [36] SST Training center, «Centros de formación de SST». Accedido: 4 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://sstraining.es/instalaciones/>
- [37] J. I. Pascual, «Qué es FAB, el market de Epic Games, The Factory School», noviembre de 2024. Accedido: 8 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://thefactoryschool.com/blog/que-es-fab-de-epic-games/>
- [38] Unreal Engine, «Unreal Engine 5». Accedido: 8 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.unrealengine.com/es-ES/unreal-engine-5>
- [39] Epic Games Developer, «Variantes en las plantillas de juego | Unreal Engine 5.7 Documentación | Epic Developer Community». Accedido: 26 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dev.epicgames.com/documentation/es-es/unreal-engine/variants-in-game-templates>
- [40] Epic Games Developer, «MetaHuman Documentation | MetaHuman Documentation | Epic Developer Community». Accedido: 18 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/metahuman/metahuman-documentation>
- [41] Epic Games Developer, «HDRI Backdrop | Unreal Engine 4.27 Documentation | Epic Developer Community». Accedido: 5 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/lighting-the-environment-in-unreal-engine>
- [42] Epic Games Developer, «Lumen Global Illumination and Reflections in Unreal Engine | Unreal Engine 5.7 Documentation | Epic Developer Community». Accedido: 17 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/lumen-global-illumination-and-reflections-in-unreal-engine>
- [43] Epic Games Developer, «Overview of Niagara Effects for Unreal Engine | Unreal Engine 5.0 Documentation | Epic Developer Community». Accedido: 12 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/niagara-overview>
- [44] M. M. Torres Alles, «Nuevo simulador de control de averías del Centro de Instrucción de Seguridad Interior (CISI)», *Revista General de Marina*, julio 2023. Accedido: 2 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2023/07/RGMJulio2023Parte09.pdf>

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

El desarrollo de un simulador virtual para la instrucción en Seguridad Interior presenta varias implicaciones positivas desde el punto de vista social, económico y medioambiental.

Primeramente, desde una perspectiva medioambiental, el empleo de un entorno virtual permite que se reduzca el empleo de recursos materiales necesarios en los ejercicios de entrenamiento tradicionales. En los centros de formación reales como el CISI de Ferrol o el CASI de la Escuela Naval Militar, es habitual usar combustibles, agua y otro tipo de materiales para simular incendios, fugas o situaciones de emergencia, lo que provoca que se haga uso de un excesivo número de recursos, de gran valor económico, y que se generen grandes emisiones y residuos. Mediante el uso de simulación virtual, estas prácticas pueden reproducirse sin necesidad de utilizar gas, agua u otros materiales consumibles, disminuyendo así el impacto ambiental que produce la instrucción en Seguridad Interior. Además, se reduce el uso de instalaciones físicas destinadas a este tipo de ejercicios, ayudando a un empleo más sostenible de este tipo de infraestructuras.

Desde el punto de vista económico, la simulación virtual también supone una mejora en el empleo de los recursos destinados a la formación. Los ejercicios reales necesitan el mantenimiento de instalaciones especializadas para la representación de estas incidencias, la utilización de equipamiento específico y el consumo de materiales durante cada sesión de entrenamiento. La creación de un simulador permite que se complementen este tipo de ejercicios reales con sesiones de formación virtuales, reduciendo los costes que tiene el empleo de material y combustibles, al uso constante de las instalaciones y el mantenimiento de los equipos de Seguridad Interior.

Por último, en el ámbito de formación del personal, este tipo de herramientas ayudan a mejorar los procesos de aprendizaje mediante la incorporación de elementos de gamificación. El empleo de un sistema interactivo basado en retos, preguntas y puntuaciones permite aumentar la motivación del alumnado y forzar una participación más activa durante el periodo de formación. Cabe destacar que ante los métodos de evaluación tradicionales que existen basados en exámenes teóricos en papel, este sistema virtual aporta una forma de evaluación más dinámica, en la que los estudiantes interactúan directamente con situaciones simuladas similares a las que podrían encontrarse en un entorno real.

Finalmente, la utilización de simuladores virtuales para la formación en Seguridad Interior es una herramienta complementaria que puede mejorar la eficiencia de los procesos formativos, reducir costes y disminuir el impacto ambiental asociado a las prácticas de formación tradicionales.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El objetivo del desarrollo de este tipo de herramientas de simulación aplicadas a la formación de Seguridad Interior tiene varios puntos de vista desde el plano ético y social. En este proyecto se ha desarrollado un simulador virtual, en el que se recrean distintos escenarios de intervención relacionados con la lucha contraincendios, el control de averías y la defensa NRBQ. El empleo de este tipo de tecnologías introduce nuevas formas de aprendizaje que deben analizarse desde una perspectiva responsable.

En primer lugar, desde el punto de vista social, el uso de simuladores virtuales ayuda a mejorar los procesos de formación a través de entornos interactivos en los que el alumno puede enfrentarse a entornos peligrosos sin asumir riesgos reales. Esto favorece un aprendizaje progresivo, en el que los usuarios desarrollen habilidades de análisis, toma de decisiones y aplicación de procedimientos en situaciones simuladas bajo presión. Además, los sistemas de evaluación integrados dentro del propio entorno virtual, como el sistema de preguntas implementado en este trabajo, permiten la adquisición de conocimientos de forma dinámica y participativa, elementos básicos de la gamificación.

Asimismo, el empleo de entornos virtuales permite que se puedan repetir ejercicios y recrear distintos escenarios operativos, con el objetivo de mejorar la preparación de los alumnos antes de enfrentarse a incidencias reales en las unidades. En este sentido, la simulación sirve como una herramienta que se complementa con la formación teórica y práctica dentro del entorno de la Seguridad Interior.

Desde un punto de vista ético, con el desarrollo de este tipo de herramientas se busca una mejora del aprendizaje y de la preparación profesional de los usuarios. Además, el diseño de escenarios de emergencia como el del presente proyecto se ha diseñado simulando criterios de responsabilidad, evitando que las situaciones críticas representadas se entiendan como parte de un juego, y garantizando que el objetivo principal sea el entrenamiento y la obtención de competencias en materia de Seguridad Interior. Es decir, en este contexto, la tecnología se emplea como un medio para mejorar la formación, y no como un sustituto de la experiencia práctica, ni como parte de un entretenimiento del usuario.

Con todos los aspectos tratados en este proyecto, se muestra que la incorporación de sistemas de gamificación en los procesos de formación puede contribuir a aumentar la motivación y la implicación de los alumnos. Sin embargo, es importante que estas herramientas se utilicen de forma equilibrada, sin que la simulación en un entorno virtual acabe con el propósito formativo que realmente tiene el sistema.

En conclusión, el uso de simuladores virtuales en el ámbito de la formación en Seguridad Interior representa una oportunidad para mejorar los métodos de enseñanza y evaluación. No obstante, su desarrollo y aplicación deben realizarse teniendo en cuenta las implicaciones éticas y sociales que tienen este tipo de tecnologías, garantizando que su finalidad principal sea alcanzar una formación más completa, segura y eficaz.

ANEXO III: BANCO DE PREGUNTAS EMPLEADAS EN EL SIMULADOR

Edificio Contraincendios “Xavier Núñez”

1. El uso del ERA en compartimentos cerrados es obligatorio porque:
Reduce el cansancio.
Mejora la comunicación.
Protege frente a gases tóxicos y atmósferas pobres en oxígeno.
2. Ante la detección de humo en un compartimento a bordo, ¿cuál debe ser la actuación inmediata según la doctrina de Seguridad Interior?
Ventilar el compartimento para mejorar la visibilidad.
Acceder al compartimento para localizar el foco.
Comunicar la incidencia y activar el procedimiento de incendio.
3. ¿Cuál de las siguientes acciones NO es correcta ante un incendio en una cocina provocado por aceite en ignición?
Cortar el suministro eléctrico y de combustible.
Utilizar agua directamente sobre el foco del incendio.
Usar un agente extintor adecuado para incendios de clase F.
4. Se ha detectado un incendio en el ordenador del supervisor de CIC, que está afectando a otros equipos de radio. ¿Qué medida tomaría para poder apagar el incendio?
Debo hacer el aislamiento eléctrico del compartimento.
Debo montar la maniobra de ataque con mangueras para atacar la incidencia lo más rápido posible.
Emplear cubos y botellas de agua para apagar el incendio antes de que se propague.
5. Una vez dentro de un pañol de alimentos incendiado, la progresión del equipo debe realizarse:
De pie para mejorar la observación del foco.
A baja altura y con línea de agua en protección.
Separándose para cubrir más superficie.
6. Ante la detección de un incendio en un pañol de municiones, ¿cuál debe ser la prioridad principal de actuación?
Acceder inmediatamente para sofocar el foco con agua a presión.
Aislar el compartimento y proceder a su enfriamiento desde el exterior.
Ventilar el compartimento para reducir la temperatura.
7. Antes de acceder a un compartimento cerrado con incendio, el personal debe:
Ventilar completamente el compartimento.
Entrar rápidamente para localizar el foco.
Comprobar la temperatura del acceso.
8. Ante un incendio de clase A declarado en el sollado de una cama a bordo, ¿cuál es el medio de extinción más adecuado en una fase inicial?

Agua pulverizada.

Espuma.

Dióxido de carbono (CO₂).

9. El fenómeno conocido como rollover durante un incendio en un compartimento cerrado se caracteriza por:

La ignición súbita de todos los materiales combustibles del compartimento.

La combustión de los gases calientes acumulados en la parte superior del compartimento.

La explosión causada por la entrada brusca de oxígeno.

10. Durante un incendio a bordo, la función principal de la Central de Seguridad Interior es:

Actúa como punto de almacenamiento del material contraincendios y coordina exclusivamente el uso de las mangueras.

Centraliza la información del siniestro, coordina los equipos de intervención, mantiene comunicación con los distintos compartimentos y asesora al mando.

Se limita a registrar los daños producidos tras la extinción del incendio.

Edificio contraincendios “Escuela Naval Militar”

1. Si se abre un compartimento estanco tras incendio aparentemente sofocado, existe riesgo de:
- Enfriamiento.
- Flashover.
- Reignición por entrada brusca de oxígeno.
2. El principal efecto del agua en la extinción es:
- Sofocación.
- Inhibición química.
- Enfriamiento.
3. Un detector óptico de humo funciona por:
- Variación térmica.
- Oscurecimiento o dispersión de luz.
- Ionización nuclear.
4. ¿En qué clase de fuego NO debe emplearse agua?
- Clase A.
- Clase B.
- Clase D.
5. El flashover supone:
- Ignición simultánea de todos los combustibles del compartimento.
- Extinción total del incendio.
- Descenso de temperatura súbito.
6. En caso de incendio declarado en un compartimento, la condición mínima de estanqueidad que debe ordenarse de inmediato es:
- X.
- Y.
- Z.
7. En caso de activación de sistema fijo (CO₂ total en local), es imprescindible:
- Asegurar estanqueidad máxima (Z).

Mantener ventilación abierta.
Establecer condición de estanqueidad X.

8. Durante un incendio declarado en un compartimento inferior, se ordena establecer condición Z.
¿Qué implica esta medida?
Cerrar únicamente puertas exteriores.
Cerrar todos los cierres estancos y cortafuegos excepto los necesarios para la intervención.
Ventilar todos los compartimentos.
9. El agente extintor más adecuado en una primera intervención es:
Agua pulverizada.
Espuma.
CO₂.
10. En condición Z, la ventilación del compartimento afectado debe:
Mantenerse activa.
Incrementarse.
Cortarse salvo necesidad táctica.

Edificio control de averías “Francisco Troncoso”

1. El cierre estanco debe realizarse siempre:
Desde el compartimento más bajo.
Según el plan de estanqueidad establecido.
Cuando el comandante lo ordene verbalmente.
2. En un compartimento inferior se observa deformación progresiva de un mamparo debido a la presión del agua acumulada en el compartimento contiguo. ¿Cuál es la actuación correcta en materia de apuntalamiento?
Instalar un apuntalamiento adecuado dimensionado según la presión estimada, asegurando reparto uniforme de cargas.
Proceder al achique inmediato sin intervenir estructuralmente.
Abrir puertas estancas para aliviar la presión diferencial.
3. Tras la activación prolongada de agua nebulizada, el compartimento comienza a acumular agua. ¿Qué riesgo aparece?
Sobrepresión estructural.
Efecto de superficie libre y pérdida de estabilidad.
Aumento de temperatura.
4. Ante una inundación en un compartimento inferior, una medida fundamental para evitar su propagación es:
Mantener puertas estancas abiertas para facilitar el acceso.
Aislar el compartimento cerrando puertas y pasos estancos.
Encender iluminación adicional.
5. ¿Dónde debe colocarse preferentemente una motobomba portátil durante una inundación?
En el punto más bajo del compartimento inundado.
En cubierta superior.
En un compartimento seco adyacente, si es posible, aspirando mediante manguera.

6. Si el caudal de entrada de agua supera al de achique del sistema fijo:
Se debe cerrar el compartimento y abandonarlo.
Se debe aumentar la potencia eléctrica general.
Se deben emplear medios portátiles adicionales y reducir la vía de agua.
7. Una vía de agua introduce 40 m³/h en el compartimento. Dispones de:
 - Bomba fija: 30 m³/h
 - Motobomba portátil: 15 m³/h¿Qué ocurre?
El nivel baja progresivamente.
El nivel se mantiene estable.
El nivel sube lentamente.
8. Ante la detección de una fuga activa en una tubería que provoca inundación progresiva del compartimento, la primera medida debe ser:
Intentar taponar la fuga directamente sin más actuaciones.
Aumentar la ventilación del compartimento.
Localizar y cerrar la válvula de seccionamiento correspondiente.
9. Durante una inundación asimétrica, además del achique, ¿qué debe vigilarse especialmente?
La temperatura del compartimento.
La estabilidad y escora del buque.
El consumo de combustible.
10. Si aumentamos excesivamente la altura de aspiración en una motobomba portátil:
Aumenta el caudal.
Disminuye el riesgo de cavitación.
Disminuye el rendimiento y puede aparecer cavitación.

Edificio de amenaza NRBQ

1. ¿Qué acción final se realiza antes de considerar al individuo descontaminado?
Secado.
Vestido.
Monitorización.
2. Durante la ducha inicial la máscara debe:
Retirarse.
Permanecer puesta.
Colocarse en transporte.
3. En Zona Media 1 se procede al:
Completo desvestido excepto máscara NBQR.
Retirada total del equipo.
Cambio de filtro.
4. ¿Qué elemento se cambia obligatoriamente en esta zona?
Cubrebotas.
Dosímetro.
Filtro de la máscara.
5. ¿Cuál es la finalidad principal de la Zona Caliente?

Desvestido completo.
Ducha descontaminante.
Descontaminación gruesa inicial.

6. ¿Qué significan las siglas NRBQ?
Nuclear, Radiológico, Biológico y Químico.
Nuclear, Reactivo, Biológico y Químico.
Nuclear, Radiactivo, Bacteriológico y Químico.
7. ¿Con qué nos descontaminaremos ante LEWISITA?
Servilleta.
Manopla.
Hojilla.
8. ¿Qué tipo de amenaza corresponde a materiales radiactivos dispersados sin explosión nuclear?
Nuclear.
Radiológica.
Biológica.
9. ¿De qué color se tornan las hojas del papel detector de agresivos químicos en forma líquida ante la Iperita?
Rojo.
Amarillo.
Naranja.
10. Las señales empleadas para marcar las zonas contaminadas con Ag Químicos son:
Triangulares, fondo azul y con la leyenda BIO en rojo.
Triangulares, fondo amarillo y con la leyenda GAS en negro.
Triangulares, fondo amarillo y con la leyenda GAS en rojo.

ANEXO IV: DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En la elaboración del presente Trabajo Fin de Grado se ha realizado un uso limitado y estrictamente auxiliar de herramientas de inteligencia artificial generativa. Dicho uso se ha llevado a cabo de forma puntual, siempre bajo supervisión directa, y sin que estas herramientas hayan intervenido en la generación del contenido del trabajo.

En concreto, la inteligencia artificial se ha empleado como apoyo en la corrección y mejora de textos, con el objetivo de reforzar la claridad expresiva, la coherencia global del documento y la corrección gramatical y ortográfica. En todo momento, el contenido ha sido revisado y validado de manera crítica, teniendo un control total sobre la redacción final.

Asimismo, se ha utilizado inteligencia artificial para la generación de determinadas imágenes incluidas en la memoria, las cuales han sido creadas y revisadas para asegurar que fuesen adecuadas al contexto técnico del trabajo. En todas estas imágenes se ha justificado el uso de la inteligencia artificial en sus correspondientes pies de figura.

Fuera de los casos mencionados, no se han empleado herramientas de inteligencia artificial en ninguna otra fase del desarrollo del trabajo, especialmente en lo relativo al diseño o a la programación, que han sido de elaboración propia.

Finalmente, el uso de herramientas de inteligencia artificial generativa se ha realizado de forma responsable y ética, como complemento al trabajo personal y siempre bajo supervisión directa.