

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE SOFTWARE

Tema:

ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO EN INSPECCIÓN OCULAR TÉCNICA DE LOS PERITOS DE CRIMINALÍSTICA DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN TÉCNICO CIENTÍFICA POLICIAL

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Software

ÁREA: Desarrollo de software

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Software, Tecnologías de la información y Ciencia de datos

AUTOR: Sebastián Ilbay Rodríguez

TUTOR: Ing. Rubén Eduardo Nogales Portero, Mg.

Ambato - Ecuador

julio – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO EN INSPECCIÓN OCULAR TÉCNICA DE LOS PERITOS DE CRIMINALÍSTICA DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN TÉCNICO CIENTÍFICA POLICIAL, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Sebastián Ilbay Rodríguez, estudiante de la Carrera de Software, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, julio 2025.



Ing. Rubén Eduardo Nogales Portero, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO EN INSPECCIÓN OCULAR TÉCNICA DE LOS PERITOS DE CRIMINALÍSTICA DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN TÉCNICO CIENTÍFICA POLICIAL es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, julio 2025.

Firmado electrónicamente por:
SEBASTIAN ILBAY RODRIGUEZ
Validar únicamente con FirmaEC

Sebastián Ilbay Rodríguez

C.C. 1804124160

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, julio 2025.



Sebastián Ilbay Rodríguez

C.C. 1804124160

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Sebastián Ilbay Rodríguez, estudiante de la Carrera de Software, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO EN INSPECCIÓN OCULAR TÉCNICA DE LOS PERITOS DE CRIMINALÍSTICA DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN TÉCNICO CIENTÍFICA POLICIAL, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con el señor Presidente del Tribunal.

Ambato, julio 2025.

Firmado electrónicamente por:
FRANKLIN OSWALDO MAYORGA MAYORGA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Franklin Oswaldo Mayorga Mayorga, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
KLEVER RENATO URVINA BARRIONUEVO
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Klever Urvina Barrionuevo, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Firmado electrónicamente por:
EDWIN HERNANDO BUENANO VALENCIA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Edwin Buenaño Valencia, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mi hermana Danna Valentina, la fuente de mi fortaleza e incansable esfuerzo, aquella niña que desde que llegó a mi vida cambio la monotonía de los días, con sus ideas y juegos entreteniéndome en el día a día.

A mis hermanos Danilo y Joseluis, quienes con su confianza y ayuda he superado los obstáculos que se me han presentado.

A mi madre Ruth, por estar presente en todos los momentos de mi vida, quien con su presencia y consejos llegué a ser lo que soy.

A mi padre José, por enseñarme con el ejemplo a ser honesto, recordándome que los resultados son fruto del esfuerzo.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por permitirme alcanzar mis metas y logros, por creer en mí en todo momento, por cada instante compartido y por todos los que aún nos esperan. Gracias por ser el pilar fundamental de mi vida y de mi historia.

A mis compañeros, por su valiosa ayuda, colaboración y compañerismo durante mi formación, y por haber contribuido de manera significativa a mi aprendizaje.

A mis instructores, por compartir su conocimiento, por su dedicación constante y por guiarme con paciencia y sabiduría a lo largo de mi formación. Gracias por ser una parte esencial de este proceso de crecimiento académico y profesional.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA ..... **i**

APROBACIÓN DEL TUTOR ..... **ii**

AUTORÍA ..... **iii**

DERECHOS DE AUTOR ..... **iv**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ..... **v**

DEDICATORIA ..... **vi**

AGRADECIMIENTO ..... **vii**

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS ..... **viii**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xii**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xiii**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **xx**

RESUMEN EJECUTIVO ..... **xxii**

ABSTRACT ..... **xxiii**

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO **1**

1.1 Tema de investigación 1

1.1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Antecedentes investigativos 2

1.3 Fundamentación teórica 14

1.3.1 Entorno virtual inmersivo 14

1.3.2 Realidad Virtual 14

1.3.3 Motor de videojuegos 15

1.3.4 Herramienta de modelado 3D 16

1.3.5 Técnica de modelado 17

1.4 Objetivos 18

1.4.1 Objetivo general 18

1.4.2 Objetivos específicos 18

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 19

2.1 Materiales 19

2.2 Métodos 19

2.2.1 Modalidad de la investigación 21

2.2.2 Población y muestra 21

2.2.3 Recolección de información 25

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos 27

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 30

3.1 Análisis y selección de las herramientas de entornos virtuales inmersivos 30

3.1.1 Dispositivo de realidad virtual 30

3.1.2 Selección del motor de videojuegos 30

3.1.3 Selección de la herramienta de modelado 3D 32

3.1.4 Selección de la herramienta de diseño 2D 34

3.2 Diseño de la propuesta 35

3.2.1 Estructura de los mundos 36

3.2.2 Estructura de un mundo 36

3.2.3 Arquitectura del sistema 38

3.3 Desarrollo del software para el entrenamiento de los peritos de criminalística en inspección ocular técnica 39

3.3.1 Desarrollo ágil 39

3.3.2 Configuración del proyecto 41

3.3.3 Jugador. 42

3.3.4 Objetos desplazables 45

3.3.5 Objetos agarrables 47

3.3.6 Objetos con mecánicas 51

3.3.7 Interfaz de usuario 56

3.3.8 Mundos 64

3.4 Medición del nivel de aceptación del uso de la tecnología inmersiva en la formación de los peritos de criminalística 67

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 80

4.1 Conclusiones 80

4.2 Recomendaciones..... 81

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

ANEXOS 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultado de la búsqueda en las bases de datos científicas 3

Tabla 2. Resultados obtenidos tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión 4

Tabla 3. Resultados obtenidos tras aplicar los criterios de pertinencia..... 5

Tabla 4. Distribución de la población 22

Tabla 5. Distribución de la muestra 24

Tabla 6. Puntuaciones del test de consistencia interna 27

Tabla 7. Cuadro comparativo de motores de videojuegos 31

Tabla 8. Matriz de decisión para motor de videojuegos 31

Tabla 9. Cuadro comparativo de herramientas de modelado 3D 32

Tabla 10. Matriz de decisión para herramienta de modelado 3D 33

Tabla 11. Cuadro comparativo de herramientas de modelado 2D 34

Tabla 12. Matriz de decisión de herramienta de diseño 2D 35

Tabla 13. Actividades del tablero Kanban 40

Tabla 14. Configuraciones y complementos de Godot Engine para realidad virtual. 41

Tabla 15. Estructura básica para el jugador 42

Tabla 16. Mecánicas del jugador 43

Tabla 17. Herramientas del entorno virtual inmersivo..... 49

Tabla 18. Resultados *t* de Student para muestras relacionadas por ejes TAM 73

Tabla 19. Escala SUS 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la metodología 20

Figura 2. Respuestas promedio al cuestionario de interés 28

Figura 3. Metodología POFREC 29

Figura 4. Esquema jerárquico de los mundos 36

Figura 5. Esquema jerárquico de un mundo 37

Figura 6. Arquitectura del sistema 39

Figura 7. Escena del jugador 44

Figura 8. Diagrama de casos de uso del jugador según estados 45

Figura 9. Escena básica para los objetos desplazables 46

Figura 10. Diagrama de flujo de la interacción entre el jugador y el objeto desplazable 47

Figura 11. Escena básica para los objetos agarrables 48

Figura 12. Diagrama de flujo de la interacción entre el jugador y el objeto agarrable 49

Figura 13. Escena básica para los paquetes 50

Figura 14. Escena invisible con colisiones 52

Figura 15. Escena de la puerta 52

Figura 16. Escena de la sangre 53

Figura 17. Diagrama de flujo para la interacción con la sangre 54

Figura 18. Construcción del shader 55

Figura 19. Escena de la huella dactilar 55

Figura 20. Diagrama de flujo para la interacción con la huella 56

Figura 21. Escena básica para interfaces con desplazamiento horizontal 57

Figura 22. Escena básica para interfaces con desplazamiento vertical 57

Figura 23. Escena básica para interfaces con desplazamiento por cuadrículas 57

Figura 24. Escena básica contenedora para interfaces 2D 58

Figura 25. Iconos de las interfaces de usuario 58

Figura 26. Escena 3D de la interfaz para el vestíbulo 59

Figura 27. Escena 3D de la interfaz de los tutoriales 60

Figura 28. Escena 3D de la interfaz del jugador 61

Figura 29. Escena 3D para la interfaz del objeto 62

Figura 30. Diagrama de flujo para la interacción con las interfaces de usuario 63

Figura 31. Escena del vestíbulo 65

Figura 32. Escena del crimen 65

Figura 33. Escena del tutorial de ejemplo 66

Figura 34. Escena de carga 67

Figura 35. Uso del sistema por parte de los peritos especializados 68

Figura 36. Promedio de las respuestas a las preguntas TAM 69

Figura 37. Promedio de las respuestas por eje TAM 72

Figura 38. Uso del sistema por parte de expertos en informática 75

Figura 39. Tiempos de ejecución del conjunto de tareas 75

Figura 40. Promedio de las respuestas a la encuesta SUS 76

Figura 41. Mecánica de teletransporte 97

Figura 42. Mecánica de abrir el menú 97

Figura 43. Mecánica de navegar en el menú 98

Figura 44. Mecánica de seleccionar en el menú 98

Figura 45. Mecánica de agarrar objetos 98

Figura 46. Mecánica de desplazar objetos 99

Figura 47. Mecánica de agacharse 99

Figura 48. Cama 100

Figura 49. Armario 100

Figura 50. Silla 101

Figura 51. Estante 101

Figura 52. Sofá 101

Figura 53. Puf de sofá 101

Figura 54. Sofá individual 102

Figura 55. Mesa 102

Figura 56. Televisor 102

Figura 57. Cinta de seguridad 103

Figura 58. Numerador 103

Figura 59. Testigo métrico 104

Figura 60. Medidor laser 104

Figura 61. Pincel para revelado de huellas dactilares 104

Figura 62. Adhesivo para huellas 104

Figura 63. Luz forense 105

Figura 64. Visor del jugador 105

Figura 65. Hisopo 105

Figura 66. Cámara forense 106

Figura 67. Almohada 107

Figura 68. Sábana 107

Figura 69. Cojín 108

Figura 70. Libro 108

Figura 71. Portarretratos 108

Figura 72. Plato 108

Figura 73. Dona 109

Figura 74. Flor 109

Figura 75. Florero 109

Figura 76. Cesto de basura 110

Figura 77. Cuchillo 110

Figura 78. Laptop 110

Figura 79. Foco 111

Figura 80. Teléfono 111

Figura 81. Pintura 111

Figura 82. Planta 112

Figura 83. Control remoto 112

Figura 84. Anillo 112

Figura 85. Jabón líquido 113

Figura 86. Hoja 113

Figura 87. Jabón en barra 113

Figura 88. Contenedor del jabón en barra 114

Figura 89. Cepillo de dientes 114

Figura 90. Papel higiénico 114

Figura 91. Bebida alcohólica 115

Figura 92. Vaso 115

Figura 93. Tarjeta FTA 116

Figura 94. Frasco 116

Figura 95. Caja de cartón 117

Figura 96. Funda de papel 117

Figura 97. Caja petri 117

Figura 98. Funda plástica 117

Figura 99. Tubo de ensayo 118

Figura 100. Interfaz principal del vestíbulo 119

Figura 101. Interfaz para escenas 119

Figura 102. Interfaz para licencias 120

Figura 103. Interfaz para detalle de licencias 120
Figura 104. Interfaz para el tutorial de teletransporte 121
Figura 105. Interfaz para el tutorial de agarrar objetos 121
Figura 106. Interfaz para el tutorial de desplazar objetos 122
Figura 107. Interfaz para el tutorial de agacharse 122
Figura 108. Interfaz para el tutorial de interacción con el menú 122
Figura 109. Interfaz para el tutorial de abrir menús especiales 122
Figura 110. Interfaz para el tutorial de interacción con la cámara 123
Figura 111. Interfaz principal del menú general 124
Figura 112. Interfaz de herramientas 124
Figura 113. Interfaz de numeradores 124
Figura 114. Interfaz de luces 125
Figura 115. Interfaz de visores para el jugador al usar luces 125
Figura 116. Interfaz del kit de huellas 125
Figura 117. Interfaz de reactivos físicos 125
Figura 118. Interfaz para polvos 126
Figura 119. Interfaz para polvos magnéticos 126
Figura 120. Interfaz para reactivos químicos 126
Figura 121. Interfaz para salir 126
Figura 122. Interfaz principal para objetos de tipo herramienta 127
Figura 123. Interfaz principal para objetos de tipo decorativo 127

Figura 124. Interfaz para embalaje 127
Figura 125. Interfaz para envío de evidencia 127
Figura 126. Interfaz principal de la cámara 128
Figura 127. Interfaz de la cámara del modo automático 128
Figura 128. Interfaz de la cámara del modo filtro 128
Figura 129. Interfaz de la cámara del modo filtro 129
Figura 130. Interfaz de la cámara del modo manual 129
Figura 131. Hombre 130
Figura 132. Cortinas 130
Figura 133. Espejo con gabinete 131
Figura 134. Ducha 131
Figura 135. Lavamanos 131
Figura 136. inodoro 131
Figura 137. Ventana 132
Figura 138. Activador de la mecánica de teletransportación 136
Figura 139. Activador de la mecánica de agarrar objetos 137
Figura 140. Activador de la mecánica de agacharse 138
Figura 141. Activador de la mecánica de desplazar objetos grandes 138
Figura 142. Activador de la mecánica de mostrar menú 139

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Estructura de la entrevista al subdirector de la DINITEC 86

Anexo B. Estructura de la entrevista al especialista en IOT 88

Anexo C. Encuesta sobre la incorporación de tecnología inmersiva en procesos de entrenamiento 89

Anexo D. Documentación de los requerimientos del sistema 92

Anexo E. Representación visual de las mecánicas del jugador 97

Anexo F. Objetos desplazables 100

Anexo G. Objetos agarrables de tipo herramienta 103

Anexo H. Objetos agarrables de tipo decorativo 107

Anexo I. Paquetes 116

Anexo J. Interfaces para el vestíbulo 119

Anexo K. Interfaces para el tutorial 121

Anexo L. Interfaces para el jugador 124

Anexo M. Interfaces para el objeto 128

Anexo N. Elementos estáticos del entorno 130

Anexo O. Protocolo para la obtención de datos de los expertos en criminalística .. 133

Anexo P. Manual de usuario 136

Anexo Q. Encuesta antes del uso del sistema 143

Anexo R. Encuesta después del uso del sistema 145

Anexo S. Protocolo para la obtención de datos de los expertos informáticos 147

Anexo T. Encuesta usando las preguntas SUS..... 150

RESUMEN EJECUTIVO

Los peritos de la Unidad de Criminalística de la Dirección Nacional de Investigación Técnica Científica Policial enfrentan dificultades en su formación práctica sobre la inspección ocular técnica, un procedimiento esencial para el adecuado procesamiento de escenas del crimen. Esta problemática se debe a que la única instalación física equipada para este tipo de entrenamiento se encuentra en el Distrito Metropolitano de Quito, lo que genera barreras logísticas y económicas para quienes se encuentran en otras zonas del país.

Ante esta problemática, el presente trabajo investigativo propone el desarrollo de un entorno virtual inmersivo que optimice el entrenamiento en inspección ocular técnica, dirigido a los peritos de criminalística de dicha institución.

La solución fue desarrollada utilizando el motor de videojuegos Godot Engine y el software de modelado 3D Blender, diseñada para ser ejecutada en dispositivos de realidad virtual Meta Quest, permitiendo así una experiencia inmersiva, interactiva y realista.

Como resultado se logró que el sistema sea autónomo e independiente de otras plataformas, lo que facilita su implementación sin requerimientos adicionales de infraestructura tecnológica. Esta característica permite la descentralización del entrenamiento para facilitar su futura expansión a nivel nacional.

La validación realizada por parte de los expertos en criminalística arrojó una evaluación favorable respecto al uso del sistema en el proceso de formación profesional. Asimismo, se evidenció un aumento en la aceptación general hacia el uso de tecnologías inmersivas, incrementándose de 3,97 a 4,21 sobre una escala de 5 puntos.

Palabras clave: Simulación 3D, entorno virtual, realidad virtual, criminalística, escena del crimen, entrenamiento policial, motor de videojuegos.

ABSTRACT

The forensic experts of the Criminalistics Unit of the Dirección Nacional de Investigación Técnica Científica Policial face challenges in their practical training on crime scene examination, a crucial procedure for the proper processing of crime scenes. This issue arises because the only physical facility equipped for this type of training is located in the Distrito Metropolitano de Quito, creating logistical and economic barriers for those in other areas of the country.

In response to this issue, the present research proposes the development of an immersive virtual environment aimed at enhancing crime scene examination training for the forensic experts of the aforementioned institution.

The solution was developed using the Godot Engine video game engine and Blender 3D modeling software. It is designed to run on Meta Quest virtual reality devices, thereby providing an immersive, interactive, and realistic experience.

As a result, the system is fully autonomous and independent of other platforms, which facilitates its implementation without requiring additional technological infrastructure. This feature enables the decentralization of training and supports its potential nationwide expansion.

Validation carried out by criminalistics experts yielded a favorable assessment of the system's usefulness in professional training. Additionally, a notable increase in the overall acceptance of immersive technologies was observed, rising from 3.97 to 4.21 on a 5-point scale.

Keywords: 3D simulation, virtual environment, virtual reality, forensics, crime scene, police training, game engine.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO EN INSPECCIÓN OCULAR TÉCNICA DE LOS PERITOS DE CRIMINALÍSTICA DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN TÉCNICO CIENTÍFICA POLICIAL.

1.1.1 Planteamiento del problema

En los últimos años, los entornos virtuales inmersivos han mostrado un gran potencial para investigaciones multidisciplinarias debido a su capacidad para crear experiencias inmersivas en entornos tridimensionales generados por computadora. El uso de los entornos virtuales inmersivos está en constante crecimiento en el ámbito educativo, dado que facilita la creación de representaciones realistas y detalladas de diversos escenarios. De hecho, [1] implementó un entorno virtual inmersivo para la educación clínica, demostrando que este método supera al tradicional al presentar una diferencia significativa de 12,71 puntos en la media (Entorno Inmersivo = 83,52 puntos; Tradicional = 70,81 puntos). Además, las desviaciones estándar mostraron una menor dispersión en los resultados del sistema inmersivo (DE = 7,58) en comparación con el método tradicional (DE = 18,70). Los entornos virtuales inmersivos no solo facilitan una experiencia educativa más efectiva, sino que también permiten a los estudiantes practicar en un entorno controlado, reduciendo así los riesgos asociados. Asimismo, [2] utilizó un entorno virtual inmersivo para estudiar el comportamiento humano ante incendios residenciales, logrando replicar y validar un modelo general de conducta humana.

En este contexto, los entornos virtuales inmersivos tienen un gran potencial de aplicación en diversas unidades policiales, al permitir la recreación de escenarios de alto costo o riesgo sin comprometer la seguridad del personal. La experiencia que ofrecen los entornos virtuales inmersivos facilita el desarrollo de habilidades y destrezas de manera segura. De hecho, [3] implementó un sistema multimodal con

tecnología inmersiva de realidad virtual para optimizar el control de brazos robóticos teleoperados en tareas de desactivación de artefactos explosivos, logrando una diferencia significativa en el promedio de tiempos de ejecución entre los dos métodos (Realidad Virtual = 58,53 segundos; Método Tradicional = 178,1 segundos) en una muestra de 13 participantes. Además, el uso de entornos virtuales inmersivos en el entrenamiento policial no solo optimiza el rendimiento, sino que también contribuye a incrementar la seguridad y la confianza de la ciudadanía en los servidores públicos. Asimismo, [4] utilizó un entorno virtual inmersivo para asistir en la identificación de sospechosos, permitiendo a los testigos reconocer a los sospechosos sin necesidad de estar físicamente frente a ellos, superando las limitaciones de los métodos tradicionales de identificación asistida.

En Ecuador, se ha identificado que la Dirección Nacional de Investigación Técnico Científica Policial (DINITEC) enfrenta dificultades para entrenar a sus peritos de la unidad de criminalística en el curso de inspección ocular técnica (IOT). Esto se debe a que el país cuenta únicamente con un aula de entrenamiento debidamente equipada y preparada, ubicada en el Laboratorio de Criminalística y Ciencias Forenses del Distrito Metropolitano de Quito, la cual funciona como sede principal para la formación especializada en IOT. La centralización del aula dificulta el acceso de peritos de otras zonas, lo que limita la posibilidad de reforzar conocimientos especializados. Según una entrevista realizada al subdirector nacional de la DINITEC, se estima que el costo de entrenar a un único perito por día asciende a 50$. A escala nacional se reveló que la DINITEC cuenta con un total de 772 peritos de criminalística, quienes están obligados a haber aprobado el curso de IOT para ejercer. Además, estos peritos pueden ser sometidos a procesos de reentrenamiento periódicos para mantener y actualizar sus competencias profesionales. En consecuencia, se estima que solo el 10% de los profesionales que ejercen en la DINITEC tienen acceso al aula de entrenamiento, es decir, alrededor de 695 peritos no pueden recibir un reentrenamiento adecuado en IOT.

1.2 Antecedentes investigativos

La búsqueda de estudios primarios se realizó en las bases de datos científicas ScienceDirect e IEEE Xplore para obtener información actualizada y relevante sobre

el uso de la realidad virtual. Estas bases de datos científicas brindan acceso a una vasta colección de artículos científicos y estudios revisados por pares, garantizando así la calidad y fiabilidad de las fuentes. ScienceDirect resulta útil por su enfoque en tecnología y ciencias aplicadas, mientras que IEEE Xplore destaca por su especialización en ingeniería y avances tecnológicos. Ambas bases de datos permiten analizar el uso de entornos virtuales inmersivos en investigaciones previas, proporcionando una visión integral de su aplicación y beneficios. Este paso es crucial para desarrollar un marco teórico sólido y respaldar los resultados con evidencia empírica.

Para la búsqueda de estudios relevantes para el presente estudio se hace uso de las siguientes cadenas de búsqueda:

- ("Virtual Reality" OR "immersive environment" OR "3D environment") AND (training OR learning) AND (Police OR Military) AND (criminalistics OR forensic)

- ("Virtual Reality" OR "immersive environment" OR "3D environment") AND (training OR learning) AND (Police OR Military)

Tabla 1. Resultado de la búsqueda en las bases de datos científicas

Base de datos	**Cantidad**	**Cadena**
Science Direct	301	Cadena 1
Science Direct	4303	Cadena 2
IEEE Explore	7	Cadena 1
IEEE Explore	396	Cadena 2
Total	**5007**	

Para realizar un primer filtro de la información recopilada, se definen criterios de inclusión y exclusión que aseguran la relevancia y calidad de los estudios seleccionados. En el contexto de la revisión sistemática, se priorizó la obtención de información actualizada, con un enfoque particular en la inmersión en entornos virtuales. Este enfoque permitió reducir de manera significativa el número de estudios, seleccionando un conjunto más manejable y pertinente para la investigación. A través de este proceso, se garantizó que los estudios incluidos no solo fueran relevantes, sino

que también aportaran valor al campo de estudio. Además, se dio prioridad a los estudios empíricos, garantizando que los hallazgos se basaran en datos y experiencias concretas. En la Tabla 2 se evidencia el resultado de los estudios que pasaron por el filtro a partir de los criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión

- El estudio se publicó entre 2019 y 2024.
- El estudio está escrito en inglés.
- El estudio utiliza tecnología de realidad extendida (XR), inmersiva o simulación.
- El texto completo del estudio se encuentra en Open Access.
- El estudio realiza el desarrollo del entorno y objetos 3D.

Criterios de exclusión

- El estudio es un estudio secundario, como una revisión bibliográfica o un artículo teórico.
- El estudio no presenta un desarrollo empírico.
- El estudio no está disponible en su totalidad o no se encuentra en Open Access.
- No se menciona la procedencia de los modelos 3D, ni si estos fueron adquiridos en tiendas.
- El estudio no generó un entorno 3D o gráficos 3D.

Tabla 2. Resultados obtenidos tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión

Base de datos	**Cantidad**	**Cadena**
Science Direct	2	Cadena 1
Science Direct	44	Cadena 2
IEEE Explore	1	Cadena 1
IEEE Explore	2	Cadena 2
Total	**49**	

Para garantizar que los estudios previos resultantes tienen valor para el presente estudio, se realiza un segundo filtro aplicando criterios de pertinencia. Este proceso garantiza que los estudios seleccionados no solo sean relevantes, sino que también aporten beneficios directos al análisis en curso. Al aplicar estos criterios, se priorizaron aquellos estudios que presentaban hallazgos significativos y aplicaciones prácticas en la inmersión en entornos virtuales. Cada criterio permite evaluar la pertinencia de los documentos mediante una escala de 0 a 1, aceptándose únicamente aquellos que superan el umbral establecido basado en la suma de los puntajes de pertinencia. En la Tabla 3 se evidencian la cantidad de estudios resultantes.

Criterios de pertinencia

- Documenta claramente el proceso de construcción del escenario 3D.
- Documenta claramente el proceso de modelado de objetos.
- Define claramente el uso dado a las herramientas especializadas utilizadas.
- Contribución a la práctica profesional.
- Realiza un análisis del hardware de realidad extendida(XR).
- Los resultados son claros.
- Evalúa la interacción y usabilidad en entornos 3D.

Tabla 3. Resultados obtenidos tras aplicar los criterios de pertinencia

Base de datos	**Cantidad**	**Cadena**
Science Direct	1	Cadena 1
Science Direct	19	Cadena 2
IEEE Explore	0	Cadena 1
IEEE Explore	1	Cadena 2
Total	**21**	

El resultado de la revisión permite contar con información relevante que se alinea con los criterios establecidos. Esta información no solo respalda la necesidad de estudiar

la inmersión en entornos virtuales, sino que también resalta la aplicabilidad en áreas de aprendizaje y capacitación. En este contexto, se destacan los antecedentes investigativos que han sentado las bases para el desarrollo de este trabajo. Estos antecedentes no solo proporcionan un marco teórico sólido, sino que también ilustran cómo se han abordado problemas similares en la literatura existente. A continuación, se presentarán en detalle estos antecedentes investigativos, centrándose en los estudios seleccionados mediante el proceso de filtrado llevado a cabo para esta investigación.

En [1] realizaron una implementación y evaluación de un entorno virtual inmersivo para la educación médica y clínica (VTRACKS), desarrollado en respuesta a la suspensión de actividades educativas durante la pandemia de COVID-19. El sistema utiliza fotogrametría para la creación de escenarios virtuales con Unreal Engine y modelos 3D obtenidos de TurboSquid, CGTrader y Epic. A través del visor Meta Quest 2, los estudiantes de diversas especialidades como Odontología, Medicina, Obstetricia y Ginecología, y Ciencias de la Enfermería, participaron en simulaciones de exámenes clínicos en un entorno virtual inmersivo. Los resultados indicaron que el rendimiento promedio de los estudiantes en VTRACKS (media = 83,52) fue significativamente mejor en comparación con la evaluación clínica tradicional OSCE (media = 70,81). Además, el análisis estadístico confirma que la mejora en el desempeño con el uso de VTRACKS no fue producto del azar, sugiriendo que esta plataforma es más efectiva para la formación clínica.

En [2] se hizo uso de un entorno virtual inmersivo para investigar el comportamiento de las personas ante un incendio residencial. El entorno virtual utilizado para el experimento fue desarrollado en Unity con modelos 3D creados en SketchUp, simulando un entorno realista de emergencia. Usando el visor HTC Vive, los participantes interactuaron con el entorno simulado y calificaron el realismo de las características visuales entre medio y alto. Los resultados mostraron que el comportamiento de los participantes replicó cualitativamente las respuestas esperadas en incendios residenciales, alineándose con el modelo general propuesto por Canter, Breaux y Sime. Esta simulación permitió analizar el comportamiento humano sin poner en peligro a los individuos.

En [3] se abordó las dificultades y la complejidad asociadas con el control de brazos robóticos en la robótica teleoperada para la eliminación de artefactos explosivos (EOD). El autor propuso el desarrollo de una interfaz multimodal que integre diversas tecnologías, como la realidad virtual (RV), la interfaz natural de usuario (NUI) y un sistema de visualización predictiva, con el objetivo de mejorar la efectividad en estas operaciones. Utilizando Blender para el modelado 3D, la propuesta busca optimizar la interacción del operador con el sistema. Los resultados del estudio revelaron una mejora notable en los tiempos de finalización de tareas, con una reducción del 67% en comparación con métodos previos, así como un incremento del 11,54% en la tasa de finalización de tareas. Además, se observó una disminución del 65,18% en la carga mental global de los agentes y una mejora de la usabilidad del 198,12%, lo que indica un avance significativo en la teleoperación de brazos robóticos para la EOD.

En [4] llevaron a cabo una implementación y prueba de un entorno virtual inmersivo para el reconocimiento de sospechosos en investigaciones criminalísticas. El sistema utiliza la tecnología de fotogrametría para escanear y modelar en 3D a los sospechosos, los cuales son luego integrados en un escenario virtual desarrollado con el motor Unity. El entorno virtual inmersivo permite a los testigos identificar a los sospechosos mediante el uso del visor HTC Vive Pro, generando una experiencia más controlada y segura. Durante las pruebas, se evaluó el tiempo de reconocimiento y los niveles de confianza de los participantes al comparar este método con el tradicional uso de fotografías impresas en hojas A4. Los resultados preliminares indican que ambos métodos son eficaces, aunque el entorno virtual proporciona una mayor inmersión, lo que sugiere que podría tener ventajas en situaciones específicas.

En [5] llevaron a cabo una implementación y validación de un sistema antibalanceo en un entorno virtual inmersivo, dirigido a mejorar la seguridad en la operación de grúas a bordo de embarcaciones marítimas. Debido a los movimientos inesperados de la carga por las perturbaciones externas y el desplazamiento del barco, se genera un peligro significativo para el personal de cubierta. Para abordar este problema, se creó un escenario virtual utilizando el motor de desarrollo Unreal Engine y modelos obtenidos de Epic, con el objetivo de simular y evaluar la efectividad del sistema antibalanceo. La simulación fue probada con operadores de carga marítima mediante visores de realidad virtual como Oculus Quest 2, Oculus Quest y Oculus Rift S. Los

resultados del estudio mostraron una mejora significativa de hasta un 49,1% en la capacidad de los operadores para rastrear el objetivo de la carga útil deseada con el sistema antibalanceo implementado. Estos hallazgos sugieren que el uso de simulaciones en entornos virtuales puede mejorar la seguridad y eficiencia en operaciones marítimas complejas.

En [6] desarrollaron un entorno virtual inmersivo para la enseñanza de experimentos químicos con el fin de abordar la falta de involucramiento que presentan los estudiantes en los sistemas tradicionales de enseñanza en ciencias. Utilizando el motor de desarrollo Unity y modelos 3D creados en 3DS MAX, el escenario virtual permite a los estudiantes realizar simulaciones de química en un entorno controlado. El visor HTC Vive fue empleado para proporcionar una experiencia inmersiva, y el sistema se probó con una muestra de 22 estudiantes. Los resultados mostraron que el sistema virtual propuesto superó a dos productos convencionales del mercado en términos de fidelidad de las simulaciones y practicidad para el usuario. Esto sugiere que las experiencias inmersivas en realidad virtual tienen el potencial de mejorar la enseñanza de ciencias al hacer los experimentos más atractivos y efectivos.

En [7] desarrollaron un entorno virtual inmersivo con el objetivo de capacitar a estudiantes en la toma de decisiones durante ataques terroristas dentro de planteles educativos, abordando la insuficiencia de recursos en esta área. Utilizando el motor Unity y recursos libres, se creó una simulación que permite a los participantes experimentar situaciones de emergencia en un entorno controlado a través de un visor HTC Vive Pro. La muestra incluyó 32 participantes, compuesta por estudiantes y personal académico. Los resultados mostraron un incremento promedio de 6,35 puntos en las puntuaciones de conocimiento tras el entrenamiento, al pasar de 6,56 a 12,91 puntos. Además, se observó una mejora significativa en la motivación intrínseca de los participantes, con un aumento promedio de 1,23 puntos en las puntuaciones, pasando de 0,74 a 1,97. Esto sugiere que el uso de entornos virtuales no solo mejora el conocimiento de los estudiantes en situaciones críticas, sino también su motivación para aprender.

En [8] desarrollaron un entorno virtual inmersivo que permite a personas con discapacidades motoras crear modelos 3D simples para diseño arquitectónico,

utilizando solo la mirada para controlar botones. El sistema fue implementado en Unity y probado con visores de realidad virtual y mixta como Google Cardboard y Acer Windows Mixed Reality. En el estudio, participaron 32 personas, quienes completaron dos variantes de tareas de modelado 3D. El tiempo promedio de finalización de las tareas fue de 78,84 segundos para la primera tarea y 93,87 segundos para la segunda. Los usuarios reportaron que la primera variante ofrecía una mejor usabilidad y requería menos esfuerzo.

En [9] evaluaron el impacto del tamaño y forma de un agente virtual en la interacción e inmersión dentro de un entorno inmersivo, utilizando un visor HTC Vive con una muestra de 10 participantes con experiencia previa en realidad virtual. Los resultados indicaron que los agentes más pequeños (con un tamaño reducido al 25%) mostraron una coordinación significativamente menor con el entorno, con un valor p de 0,021 ($p < 0,05$), lo que indica que la diferencia observada no es producto del azar. En cambio, no se encontraron diferencias significativas en cuanto al tamaño del entorno virtual ($p = 0,695$) ni en la sensación de inmersión ($p = 0,556$), lo que sugiere que las variaciones en el tamaño del entorno no tuvieron un impacto significativo. Finalmente, la facilidad de interacción se vio afectada por el tamaño del agente, mostrando una diferencia significativa con un valor p de 0,010 ($p < 0,05$), destacándose la interacción más fácil con los agentes de mayor tamaño (125%) en comparación con los más pequeños (25%).

En [10] investigaron el impacto de distintos tratamientos viales en el comportamiento de los ciclistas utilizando un simulador de bicicleta en un entorno virtual inmersivo con los HTC Vive Pro. La muestra consistió en 20 participantes, los cuales tuvieron cierta experiencia en el manejo de bicicletas. Los resultados mostraron que aumentar el ancho del carril bici en tramos curvos redujo las desviaciones en un 68% en comparación con el carril estándar. Los ciclistas de 26 a 40 años tuvieron una tasa de salidas del carril 8,72 veces mayor que los de 18 a 25 años. Además, estos ciclistas mayores se posicionaron 0,61 metros más lejos de la acera izquierda al ingresar a las rotondas.

En [11] se hizo uso de un entorno virtual inmersivo para generar datos personalizados con fines de entrenamiento en visión por computadora. Utilizando Unity como motor

de desarrollo y el visor HTC Vive Pro, se construyeron entornos virtuales detallados que simularon situaciones del mundo real. Los modelos 3D fueron generados mediante herramientas como Probuilder y ProGrids, complementados con recursos de plataformas como TurboSquid y Sketchfab. A través de esta simulación, se crearon imágenes sintéticas que lograron una precisión cercana al 97%, demostrando que la realidad virtual puede replicar condiciones del mundo físico para el entrenamiento de sistemas de IA. Esta investigación permitió superar la barrera de falta de acceso a grandes volúmenes de datos.

En [12] se trabajó en la implementación de un entorno virtual inmersivo para la formación de rescatistas en helicópteros, con el fin de hacer el entrenamiento más realista y menos costoso. Utilizando realidad virtual, los participantes, incluidos pilotos, copilotos, médicos y enfermeros, realizaron simulaciones de rescate en condiciones controladas. El dispositivo utilizado permitió la inmersión total de los equipos en escenarios de emergencia, evaluando su eficacia en tiempo real. Los resultados revelaron un índice alto en la toma de decisiones de 0,738 puntos, lo que indica una capacidad fuerte en este aspecto, pero también identificaron áreas de mejora en la coordinación y adaptabilidad del equipo. La simulación virtual permitió detectar estas deficiencias sin los riesgos y costes de la formación física tradicional.

En [13] se utilizó un entorno virtual inmersivo para estudiar el comportamiento de evacuación de personas en situaciones de emergencia, basado en la información visual percibida por el individuo. Mediante el uso de un visor VR Pro Virtual Reality Glasses y videos 360, los participantes se sumergieron en distintos escenarios simulados de evacuación que contaban con mayor y menor información de rutas de evacuación. El estudio mostró que los participantes identificaron más salidas en escenarios con señalización visible (media = 5,81) en comparación con escenarios sin información (media = 2,62). La realidad virtual permitió analizar cómo la información visual influye en las decisiones de evacuación sin exponer a los participantes a riesgos reales. Los resultados sugieren que la presencia de señales incrementa la capacidad de respuesta de las personas en situaciones de emergencia.

En [14] se investigó el impacto de un entorno virtual inmersivo en la concienciación sobre el COVID-19, utilizando un escenario virtual que simulaba situaciones de

contagio. El entorno fue desarrollado en Unity utilizando modelos obtenidos de tiendas especializadas y se implementó con el visor HTC Vive Pro para lograr una experiencia inmersiva. El estudio se realizó con una muestra de cuatro compradores frecuentes, analizando su comportamiento respecto al distanciamiento social. Los resultados indicaron una disminución en las medidas de distanciamiento después de la simulación con una reducción promedio de 0,45 metros, mostrando variación en la respuesta entre los sujetos. La simulación demostró ser útil para evaluar cambios en el comportamiento.

En [15] se diseñó un entorno virtual inmersivo para la simulación de procedimientos de resección hepática, proporcionando a los profesionales médicos una herramienta de capacitación que no requiere pacientes, cadáveres ni animales. Este entorno fue desarrollado utilizando el motor Unity, junto con modelos 3D generados en Mimics y 3ds Max. La simulación integra tecnología de realidad mixta, empleando un dispositivo háptico Geomagic Touch para ofrecer una experiencia inmersiva. Los resultados demostraron que la representación háptica alcanza frecuencias superiores a 900 Hz, permitiendo una respuesta táctil precisa durante las simulaciones. Además, el sistema actualiza la malla y los gráficos a una tasa de 45 fotogramas por segundo y ajusta interactivamente la topología a más de 10 Hz, brindando un alto nivel de realismo y fluidez en la simulación.

En [16] se hizo uso de un entorno virtual inmersivo para evaluar cómo los trabajadores del sector de la construcción perciben y comprenden su entorno laboral, especialmente en relación con los riesgos asociados a su trabajo. Este entorno fue desarrollado utilizando Unity como motor de desarrollo y 3ds Max para el modelado 3D, incorporando recursos de Unity para enriquecer la experiencia. La inmersión se logra a través de la realidad virtual, utilizando el visor Oculus Rift 2, que permite a los trabajadores interactuar con el entorno simulado. Los resultados del análisis revelaron que los trabajadores con altos niveles de conciencia situacional (SA) mostraron una mayor atención a los peligros, mientras que aquellos con bajos niveles de SA presentaron un mayor riesgo durante la realización de actividades repetitivas en condiciones potencialmente peligrosas. Esta investigación subraya la importancia de la conciencia situacional en la prevención de accidentes en el entorno laboral de la construcción.

En [17] se implementó una tecnología de comunicación remota en el metaverso que conecta a médicos especialistas con pacientes, integrando avanzadas herramientas de reconocimiento de gestos y emociones para optimizar la interacción y la comprensión mutua. La propuesta fue desarrollada utilizando Unity como motor, creando un entorno virtual inmersivo accesible a través del visor Oculus Rift S, lo que permite a los usuarios interactuar de manera más intuitiva. Los resultados destacaron altos valores en la medición facial, evidenciando una evaluación en tiempo real de las emociones de los pacientes durante las interacciones. Además, el diseño, la apariencia y la funcionalidad del meta simulador se describen como realistas y aplicables a los procedimientos médicos en contextos clínicos. Estos hallazgos subrayan el potencial transformador de los entornos virtuales inmersivos en la medicina, promoviendo consultas más empáticas y una comunicación más efectiva entre médicos y pacientes.

En [18] se desarrolló una experiencia inmersiva avanzada mediante la personalización de una chaqueta de retroalimentación vibrotáctil. Esta investigación se enfoca en crear un entorno interactivo en el que los usuarios puedan sentir estímulos físicos a través de una chaqueta, lo que aumenta la efectividad de la inmersión. Utilizando Unity como motor de desarrollo y un visor Oculus Rift 2, la propuesta incluye un dispositivo háptico y el Oculus DK2 para mejorar la interacción. Los resultados indican que la chaqueta de retroalimentación vibrotáctil personalizada logra una cobertura más amplia en comparación con otros dispositivos similares disponibles en el mercado. Además, se resalta que la chaqueta utiliza menos actuadores de vibración, lo que la convierte en una solución más eficiente y efectiva para crear experiencias enriquecedoras en entornos de realidad aumentada.

En [19], el autor abordó el desafío de la formación de nuevos operadores en temas complejos como la visión por computadora y el procesamiento de imágenes, proponiendo la creación de un entorno virtual inmersivo. Esta simulación permite a los individuos experimentar de manera interactiva el diseño y la fabricación de un sistema de detección de defectos, facilitando así el aprendizaje práctico. Utilizando Unreal Engine como motor de desarrollo y 3ds Max para el modelado 3D, la propuesta incorpora técnicas de modelado tradicional y modelado basado en assets. Los resultados indican que los estudiantes de ingeniería electrónica mostraron un mayor interés por la simulación en comparación con el método tradicional, alcanzando un

pico de interés entre 30 y 35 participantes en la simulación, mientras que el enfoque tradicional tuvo un pico de 25 a 30. Esto sugiere que el aprendizaje a través de entornos virtuales puede ser más efectivo y atractivo para los estudiantes en comparación con las metodologías convencionales.

En [20], el autor abordó la falta de apoyo adecuado y acceso a información relevante para la recuperación y autogestión de pacientes con cáncer de cabeza y cuello, proponiendo la construcción de una plataforma WebXR. Esta plataforma está diseñada para proporcionar recursos específicos y materiales de aprendizaje que faciliten el proceso de recuperación de los pacientes. El desarrollo contó con el uso de Unity como motor de desarrollo y la incorporación de modelos de tiendas de modelos 3D. Los resultados de un estudio piloto con seis pacientes mostraron que la mayoría se sintió cómoda utilizando la plataforma, considerándola útil para identificar recursos relevantes y reducir la ansiedad. Además, el 60% de los participantes evaluaron la facilidad de uso de la plataforma como muy fácil o fácil, lo que sugiere que el uso de entornos virtuales puede ser una herramienta valiosa para mejorar el apoyo a pacientes con cáncer de cabeza y cuello.

En [21] se hizo uso de un entorno virtual inmersivo para abordar el desafío de la enseñanza de la fotolitografía, un proceso complejo y poco didáctico que requiere la comprensión de conceptos técnicos avanzados y habilidades prácticas. El entorno virtual inmersivo de entrenamiento con realidad virtual auto guiada (iSGVRTS) permite a los estudiantes aprender el proceso de fotolitografía de manera más efectiva. Utilizando Unity como motor de desarrollo y software de modelado 3D como Maya y Blender, la propuesta incorpora técnicas de modelado tradicional y modelos basado en assets para crear una experiencia de aprendizaje inmersiva. Los resultados de la implementación del sistema mostraron que aproximadamente el 82,35% de los participantes alcanzaron tasas correctas superiores al 92% en la primera prueba, lo que se consideró un nivel excelente según los expertos en formación de laboratorio. En el segundo ensayo el rendimiento mejoró aún más, con alrededor del 94,11% de los participantes logrando tasas correctas del 92% o más, evidenciando así la efectividad del entorno virtual para la enseñanza de la fotolitografía.

1.3 Fundamentación teórica

El marco teórico identifica los conceptos esenciales acerca de los ambientes inmersivos y su uso en la formación profesional. Se detallarán las tecnologías y herramientas empleadas que facilitarán la creación de simulaciones realistas y efectivas para la investigación. Además, las herramientas a usar estarán enfocadas en el desarrollo de entornos 3D y la industria de los videojuegos. Este estudio tiene como objetivo evaluar la aceptación de los participantes respecto a la experiencia de entrenamiento en entornos de realidad virtual, por ende, el entorno inmersivo debe representar una situación de la vida real en el que los individuos puedan desenvolverse.

1.3.1 Entorno virtual inmersivo

Un entorno virtual inmersivo es un espacio generado por computadora que, mediante el uso de tecnologías especializadas, simula situaciones o escenarios específicos. Estos entornos hacen uso de tecnologías como realidad virtual (VR), realidad aumentada (AR) y realidad mixta (MR), lo que permite alcanzar diversos niveles de inmersión dependiendo de los requisitos de la aplicación. Los entornos virtuales inmersivos son utilizados para crear simulaciones en una amplia variedad de campos y con diferentes propósitos. Según estudios como los de [1], [2], [5], [7], [10] y [13] evidencian que estos entornos han facilitado investigaciones o pruebas de situaciones que, de otro modo, serían difíciles o incluso peligrosas de realizar en un entorno físico. Además, investigaciones como las de [3], [12], [15], [17] y [19] destacan cómo los entornos virtuales se han utilizado en la creación de productos y soluciones profesionales, impulsando la implementación de tecnologías en diversas áreas. Por otro lado, estudios como los de [6], [15] y [21] subrayan el impacto positivo de los entornos virtuales en la formación académica de los estudiantes, permitiendo la adquisición de conocimientos de manera más eficaz y dinámica.

1.3.2 Realidad Virtual

La realidad virtual (RV) es una tecnología que permite a los usuarios interactuar con elementos virtuales en un entorno virtual, utilizando dispositivos especializados como

visores y controladores. En [1], [3] y [5] se ha demostrado el uso de dispositivos autónomos de Meta, los cuales ofrecen una mayor libertad de movimiento e interacción dentro del ambiente virtual. En [2], [4], [6], [7], [9], [10], [11] y [14] optaron por el uso de dispositivos HTC Vive, donde requerían hacer uso de la potencia de un dispositivo externo. Además, en [2], [7], [12], [13] , [15] y [16] han evidenciado que los dispositivos de realidad virtual permiten situar al usuario en entornos controlados para objeto de estudio, eliminando cualquier riesgo para los participantes y terceros. Una de las principales ventajas de la RV es su capacidad para repetir situaciones específicas tantas veces como sea necesario, favoreciendo la práctica continua y el aprendizaje sin las limitaciones de un entorno físico. En [1] , [6] , [7], [12], [15], [19] y [21] se utilizó esta tecnología con fines de entrenamiento o académico, demostrando su efectividad para simular escenarios complejos que permitan mejorar el desempeño de los usuarios.

El dispositivo de realidad virtual será fundamental para el desarrollo de esta investigación, permitiendo situar al individuo en un entorno virtual diseñado para el estudio. Este dispositivo seguirá con precisión los movimientos de las manos y la cabeza, lo que facilitará una interacción natural y fluida con el entorno virtual. La baja latencia del dispositivo garantizará respuestas visuales inmediatas, optimizando la experiencia del usuario. Además, el dispositivo permitirá probar el sistema en su plataforma final, asegurando el correcto funcionamiento de las funcionalidades y el rendimiento del entorno. También se utilizará la funcionalidad de establecimiento de límites, mostrando áreas visibles en el visor para mantener la seguridad del usuario y redirigiéndolo al entorno real si sale de estas zonas.

1.3.3 Motor de videojuegos

Un motor de videojuegos es una herramienta de software que permite la creación de entornos 2D y 3D mediante una interfaz que facilita la gestión de los elementos de un escenario, así como la programación de los mismos. En [2], [4], [6], [7], [8], [10], [11], [12], [14], [15], [16], [17], [18], [20] y [21] optaron por el uso de Unity, siendo un motor sencillo de usar y que cuenta con varios recursos de aprendizaje para su uso. En cambio, en [1], [5] y [19] emplearon Unreal Engine para lograr una calidad gráfica altamente realista con el objetivo de que se asemejara lo más posible a la realidad. En

[10] y [20] hicieron uso de Matlab-RoadRunner y WebXR respectivamente para generar sus simulaciones, estas son herramientas especializadas para campos determinados, por lo que tiene limitantes si se quiere usar con otros fines. Los motores de videojuegos ofrecen configuraciones predefinidas que simplifican la implementación de efectos de física, iluminación y otros elementos visuales del entorno, además, determinados motores brindan soporte para trabajar en realidad virtual.

El uso de un motor de videojuegos será esencial para la creación del entorno virtual inmersivo en esta investigación. La capacidad de trabajar con funcionalidades específicas para realidad virtual permitirá centrar el enfoque en la construcción y optimización del entorno interactivo. Además, hacer uso de la herramienta facilitará la integración de recursos como modelos 3D, texturas y sonidos, elementos clave para dar vida al entorno. También proporcionará las funciones necesarias para programar las interacciones de los objetos dentro del espacio virtual, permitiendo que los usuarios interactúen de manera fluida. La personalización de la herramienta permitirá ajustar el sistema a las necesidades específicas de la investigación, mejorando tanto la experiencia del usuario como el rendimiento. Usar un motor de videojuegos permitirá trabajar bajo una estructura modular y reutilizable, permitiendo que todos los componentes generados puedan reutilizarse para futuros escenarios.

1.3.4 Herramienta de modelado 3D

Una herramienta de modelado 3D es un sistema que permite crear, texturizar y animar objetos detallados y realistas con un alto nivel de precisión que puede ser visualizado en un entorno virtual. En [3], [6] y [21] se empleó Blender para el modelado de objetos 3D presentes en entornos virtuales inmersivos. Blender es accesible y fácil de aprender, al ser de código abierto y contar con una comunidad activa que proporciona recursos educativos. Además, su interfaz intuitiva facilita su uso para principiantes. En [6], [15], [16] y [19] se optó por 3ds Max, una herramienta potente y profesional en modelado 3D orientada a fines comerciales la cual requiere licencia, lo que limita su accesibilidad para el público general. Además, la interfaz de 3ds Max está dirigida a usuarios con experiencia en modelado 3D, por lo que no es fácil de usar. En [1] y [4] se utilizaron herramientas basadas en fotogrametría para generar modelos 3D a partir

de fotografías, obteniendo modelos realistas que cumplían con los objetivos del estudio. En [11] se recurrió a paquetes proporcionados por el motor utilizado, los cuales facilitaban el trabajo con modelos predefinidos. En [5] y [15] se emplearon Mimics y LabVIEW como herramientas especializadas, utilizándose Mimics en aplicaciones médicas y LabVIEW en ingeniería.

Contar con una herramienta de modelado es fundamental para la presente investigación, porque facilitará la creación de modelos tridimensionales. El uso de esta herramienta permitirá generar representaciones visuales que pueden ser exportadas en formatos compatibles con diversos motores gráficos. Además, estos modelos serán esenciales para la integración en el entorno virtual, donde se podrán manipular y visualizar. La capacidad de exportar los modelos en formatos estándar garantizará su compatibilidad con diferentes plataformas y tecnologías, ampliando las posibilidades de aplicación. Asimismo, contar con una herramienta adecuada optimiza el proceso de modelado, reduciendo tiempos de trabajo.

1.3.5 Técnica de modelado

Una técnica de modelado es un procedimiento que permite crear modelos digitales para entornos virtuales. Estas técnicas garantizan la generación de representaciones eficientes, considerando restricciones de recursos (como hardware y software) y plazos de desarrollo, sin comprometer la calidad visual o funcional del modelo. En [1] y [4] se utilizó la técnica de fotogrametría que consiste en capturar múltiples fotografías de un objeto desde diferentes ángulos, para posteriormente generar un modelo 3D mediante software especializado. En [2], [6], [15], [19] y [21] se optó por el modelado desde cero, una técnica que consiste en la creación manual de cada componente geométrico de un objeto. En [7] y [14] se adoptó un enfoque basado en el uso de modelos provenientes de tiendas digitales, optimizando el flujo de trabajo mediante la reutilización y adaptación de recursos preexistentes. Asimismo, en [1], [5], [11] y [16] se adoptó un enfoque híbrido, combinando las ventajas de varias técnicas de modelado para optimizar el proceso y obtener resultados más eficientes.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Implementar un software de entrenamiento en inspección ocular técnica (IOT), mediante el uso de herramientas de entornos virtuales inmersivos, para aumentar la aceptación al uso de tecnología inmersiva en la formación de los peritos de criminalística.

1.4.2 Objetivos específicos

- Examinar herramientas de entornos virtuales inmersivos para identificar las más apropiadas que permitan el desarrollo del software para entrenamiento en inspección ocular técnica (IOT).
- Desarrollar el software que permita el entrenamiento de los peritos de criminalística en inspección ocular técnica (IOT).
- Medir el nivel de aceptación del uso de la tecnología inmersiva en la formación de los peritos de criminalística.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

- Laptop
- Dispositivo de realidad virtual
- Herramienta de modelado 3D
- Herramienta de diseño 2D
- Motor de videojuegos 3D
- Internet
- Celular

2.2 Métodos

Para la presente investigación, se ha definido una metodología estructurada por capas, como se puede observar en la Figura 1. La primera capa se centra en la recolección de la información, procedimiento el cual permite contar con el conocimiento necesario para abordar de forma correcta la problemática que se pretende resolver. En la segunda capa se opta por el desarrollo de la solución, punto importante en el que se debe generar el sistema que permita resolver la problemática abordada, teniendo en consideración que se deben satisfacer las necesidades de la institución y su población. La tercera capa da paso al despliegue y evaluación del sistema desarrollado, de modo que se pueda obtener los resultados del estudio al usar el sistema con los peritos. El uso de la metodología establecida asegura que se pueda cumplir con los objetivos de la investigación. De hecho, cada capa tiene un enfoque distinto que da paso a cumplir cada uno de los objetivos.

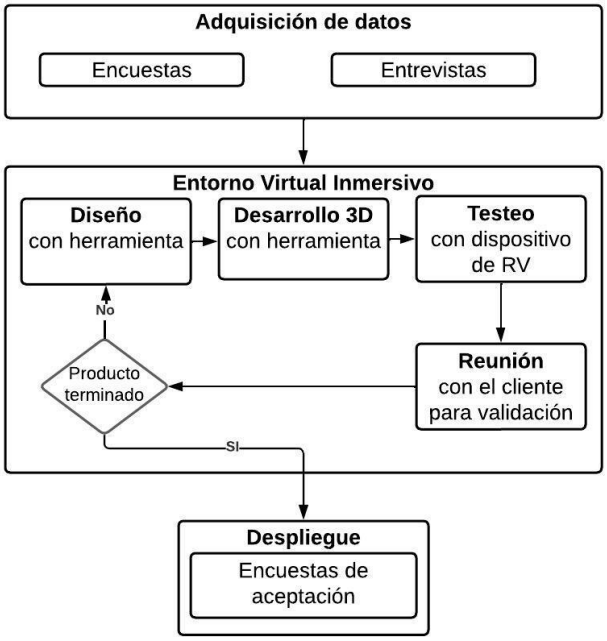


Figura 1. Esquema de la metodología

El proceso de adquisición de datos permite conocer en profundidad el problema y comprender la situación actual de los peritos y la institución. Para ello, se hace uso de instrumentos especializados como lo son las encuestas y las entrevistas. La encuesta permitirá analizar la disposición de la población al uso de tecnología inmersiva con entornos virtuales para realizar sesiones de entrenamiento, permitiendo conocer si existe interés, apertura y predisposición para implementar la solución. Por otro lado, la entrevista facilitará la recopilación de los requerimientos y permitirá una mayor profundización en la problemática a resolver. El uso de estos instrumentos garantiza la obtención de información valiosa y relevante para el desarrollo de la investigación.

El proceso de desarrollo del entorno virtual inmersivo se realiza utilizando herramientas especializadas para optimizar el proceso. En esta capa se asegura el cumplimiento de los requisitos definidos en la capa anterior. Para ello, la metodología establece una serie de pasos iterativos que permiten refinar y perfeccionar el sistema a medida que avanza el desarrollo. Además, este proceso iterativo asegura tener contacto constante con el cliente final, permitiendo verificar que lo trabajado cumpla con las expectativas del beneficiario. De hecho, el enfoque iterativo facilita el tratamiento

conjunto de elementos relacionados, permitiendo una mayor coherencia y eficiencia en cada ciclo de desarrollo.

El proceso de despliegue consiste en la instalación del sistema en los dispositivos especializados disponibles. Esta instalación permitirá evaluar el nivel de aceptación del uso de tecnología inmersiva aplicada al entrenamiento en IOT. Para ello, se realizará una única implementación piloto del sistema con un grupo de peritos especializados en IOT. Los participantes deberán completar dos encuestas: una antes de utilizar el sistema y otra después de su uso, lo que permitirá analizar el cambio en su percepción respecto a la solución propuesta.

2.2.1 Modalidad de la investigación

La presente investigación emplea un enfoque cuantitativo para medir la aceptación de los peritos de criminalística respecto al uso de tecnología inmersiva como parte de su formación profesional. Para ello, se desarrollará un entorno virtual inmersivo que permitirá a los peritos experimentar un caso en el que deberán poner en práctica sus conocimientos. Posteriormente, se realizarán encuestas utilizando una escala Likert para evaluar el nivel de aceptación al uso de la tecnología inmersiva. Los datos recolectados serán cuantificados y analizados estadísticamente, con el fin de comprender la actitud de los peritos con respecto a la incorporación de este tipo de tecnología en su formación profesional.

2.2.2 Población y muestra

Para esta investigación se define una población finita y claramente identificada compuesta por los peritos de la DINITEC, los cadetes de tercer año de la Escuela Superior de la Policía Nacional y los estudiantes de la carrera de Criminalística del Instituto Superior Universitario Policía Nacional. El factor común existente en la población definida es el de tener conocimiento en inspección ocular técnica, porque este constituye el primer paso al trabajar sobre un delito. Al trabajar con profesionales e individuos en formación garantiza tener en cuenta las perspectivas de ambas partes, permitiendo identificar si existe interés y necesidad de implementar un entorno virtual con tecnología inmersiva para entrenamiento.

Según datos obtenidos de la DINITEC, los peritos que forman parte de la institución están repartidos a escala nacional. En la Tabla 4 se puede observar que la institución trabaja por zonas que están compuestas por provincias, donde se encuentran distribuidos los peritos con los que cuenta. Por ende, se opta por trabajar bajo un muestreo estratificado por provincias para garantizar la representatividad de la muestra y permitir la generalización de los resultados. De esta manera, se busca determinar el interés y necesidad hacia la adopción de tecnología inmersiva destinado a entrenamientos especializados. Sin embargo, para las pruebas del producto final se decide limitar la participación a un grupo específico de peritos especialistas en IOT pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).

Tabla 4. Distribución de la población

Zona	**Provincias o ubicación**	N_p
Zona 1	Sucumbíos	12
	Imbabura	13
	Carchi	9
	Esmeraldas	32
Zona 2	Napo	9
	Orellana	7
	Pichincha	10
Zona 3	Chimborazo	19
	Cotopaxi	17
	Pastaza	6
	Tungurahua	23
Zona 4	Santo Domingo	30
	Manabí	47
Zona 5	Bolívar	7
	Galápagos	3
	Guayas	35
	Los Ríos	39
	Santa Elena	19
Zona 6	Azuay	30
	Cañar	13
	Morona Santiago	11
Zona 7	El Oro	26
	Loja	10
	Zamora Chinchipe	5
Zona 8	Distrito Metropolitano de Guayaquil (DMG)	154
Zona 9	Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)	186

	Escuela Superior Policía Nacional	340
	Instituto Superior Universitario Policía Nacional	45
Total		**1157**

El cálculo de la muestra se realiza utilizando el método de muestreo para una población finita, asegurando precisión en los resultados obtenidos. Para el cálculo de la muestra, se hace uso de la Ecuación 1, donde cada variable de la fórmula se describe a continuación:

$$\boldsymbol{n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}} \quad (1)$$

Donde

- n es el tamaño de la muestra de la población finita.
- N es el tamaño de la población finita conocida, para el caso sería de 1157.
- Z es el nivel de confianza, para el caso se establece en 95%, lo que equivale a 1,96.
- p es la probabilidad de que un evento ocurra o sea exitosa, al no contar con información previa se trabaja con 0,5.
- q es la probabilidad de que un evento no ocurra o no sea exitosa, al no contar con información previa se trabaja con 0,5.
- e es el margen de error permitido, el cual para el caso se establece en 5%, lo que equivale a 0,05.

Tras realizar el cálculo correspondiente, se determina que se necesita una muestra de 289 personas para participar en la encuesta. Sin embargo, al trabajar bajo un muestreo estratificado se requiere distribuir la muestra en cada provincia o ubicación de forma proporcional. Para lograr distribuir la muestra de forma proporcional al tamaño de la población se hace uso de la Ecuación 2.

$$\boldsymbol{n_p = \left(n * \frac{\left(N_p * 100\% \right)}{N} \right) \div 100\%} \quad (2)$$

Donde

- n_p es el tamaño de la muestra requerida para una provincia o ubicación.
- n es el tamaño de la muestra de la población finita.
- N_p es el tamaño de la población finita de una provincia o ubicación.
- N es el tamaño de la población finita conocida.

Al realizar los cálculos correspondientes por provincia o ubicación, se obtiene la muestra necesaria de manera estratificada. En la Tabla 5 se puede observar el resultado de los cálculos realizados. Con los cálculos realizados se garantiza la representatividad a escala nacional de las ubicaciones en las que se encuentran los peritos de la DINITEC, donde también están incluidos en ubicaciones la Escuela Superior Policía Nacional y el Instituto Superior Universitario Policía Nacional. En consecuencia, se puede generalizar los resultados de la encuesta a realizar para identificar el interés y necesidad para realizar el entorno virtual inmersivo.

Tabla 5. Distribución de la muestra

Zona	**Provincias o ubicación**	n_p
Zona 1	Sucumbíos	3
	Imbabura	3
	Carchi	2
	Esmeraldas	8
Zona 2	Napo	2
	Orellana	2
	Pichincha	2
Zona 3	Chimborazo	5
	Cotopaxi	4
	Pastaza	1
	Tungurahua	6
Zona 4	Santo Domingo	7
	Manabí	12
Zona 5	Bolívar	2
	Galápagos	1

	Guayas	9
	Los Ríos	10
	Santa Elena	5
Zona 6	Azuay	7
	Cañar	3
	Morona Santiago	3
Zona 7	El Oro	6
	Loja	2
	Zamora Chinchipe	1
Zona 8	Distrito Metropolitano de Guayaquil (DMG)	39
Zona 9	Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)	47
	Escuela Superior Policía Nacional	86
	Instituto Superior Universitario Policía Nacional	11
Total		**289**

2.2.3 Recolección de información

En el presente trabajo investigativo se utilizaron encuestas y entrevistas como herramientas principales de recolección de información, las cuales posibilitaron un análisis detallado de la problemática y la identificación de las necesidades específicas de la población objetivo. La aplicación de estos instrumentos permitió obtener datos clave para el desarrollo del proyecto. La encuesta tuvo como objetivo medir la disposición de la población frente a la introducción de una nueva tecnología, mientras que la entrevista se centró en obtener información detallada y específica para la creación del sistema. Ambos métodos de recolección de datos fueron complementarios y esenciales para asegurar un enfoque integral en la investigación.

Se realizaron dos entrevistas clave para abordar el problema y los requerimientos del sistema. La primera entrevista estaba dirigida al subdirector nacional de la DINITEC, el cual proporcionó información detallada sobre los desafíos que se desean resolver. La estructura de la entrevista realizada al subdirector nacional de la DINITEC se encuentra en el Anexo A. Además, se llevó a cabo una segunda entrevista con un especialista en IOT de planta central de la DINITEC, donde se discutió el proceso de IOT implementado en Ecuador para garantizar un manejo adecuado de la evidencia.

La estructura de la entrevista realizada al especialista en IOT puede visualizarse en el Anexo B. Ambas entrevistas permitieron obtener una visión profunda de los aspectos técnicos y operativos necesarios para el desarrollo del sistema. Además, el acceso al aula de entrenamiento en IOT permitió profundizar sobre el procedimiento de peritaje para el manejo de evidencia.

El uso de una encuesta para este punto de la presente investigación permite conocer el interés y apertura de la población en la introducción de entrenamientos con tecnología inmersiva. Las preguntas de la encuesta puede visualizarse en el Anexo C. Este paso fue crucial, porque conocer la disposición de usar una tecnología innovadora permite viabilizar la implementación del producto. La encuesta diseñada fue realizada en escala de Likert cinco. Para medir la consistencia interna del instrumento se trabajó con la técnica del coeficiente Alfa de Cronbach. El Alfa de Cronbach permite validar encuestas que contienen preguntas con escala de Likert. Para el cálculo se utilizó la Ecuación 3.

$$\propto = \frac{\boldsymbol{N}}{\boldsymbol{N-1}}\left(\mathbf{1} - \frac{\sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{N}} \boldsymbol{\sigma^2(X_i)}}{\boldsymbol{\sigma^2(X_T)}}\right) \quad (3)$$

Donde

- N es el número de ítems de la encuesta.
- $\sigma^2(X_i)$ es la varianza de las puntuaciones de cada ítem.
- $\sigma^2(X_T)$ es la varianza total de las puntuaciones sumadas.

Para evaluar la consistencia interna de la encuesta, se la aplicó a un grupo de 11 individuos seleccionados aleatoriamente de la población objetivo. Los resultados obtenidos indicaron un coeficiente de consistencia de 0,87. Según la Tabla 6 el instrumento se clasifica dentro del rango de "Bueno", lo que demuestra que cumple con los estándares de calidad y confiabilidad establecidos. Este proceso de validación garantiza que la encuesta es adecuada para ser aplicada a la muestra completa, asegurando resultados consistentes y representativos. Por ende, se confirma que el instrumento está listo para ser utilizado en la recolección de datos a mayor escala.

Tabla 6. Puntuaciones del test de consistencia interna

Alfa de Cronbach	**Consistencia Interna**
$\propto \geq 0{,}9$	Excelente
$0{,}8 \leq \propto < 0{,}9$	Buena
$0{,}7 \leq \propto < 0{,}8$	Aceptable
$0{,}6 \leq \propto < 0{,}7$	Cuestionable
$0{,}5 \leq \propto < 0{,}6$	Pobre
$\propto < 0{,}5$	Inaceptable

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos

Mediante la logística proporcionada por la DINITEC, se logró llevar a cabo una encuesta en línea a escala nacional a una muestra de la población con el fin de evaluar la aceptación al uso de tecnología inmersiva como medio de entrenamiento. Esta encuesta se realizó utilizando un instrumento previamente validado con un coeficiente Alfa de Cronbach, lo que garantiza su fiabilidad y precisión en los resultados obtenidos. Los resultados obtenidos de la encuesta revelaron una aceptación generalizada del producto. Al calcular el Alfa de Cronbach para toda la muestra, se obtuvo un nivel de confianza de 0,98, lo que indica una alta fiabilidad del instrumento. Además, se observó que la mayoría de las respuestas se ubicaron en las escalas 4 y 5, lo que refleja una postura mayoritariamente positiva hacia el producto que se pretende generar.

En la Figura 2 se puede observar el promedio de respuestas obtenidas del cuestionario realizado a toda la muestra, excluyendo aquellas preguntas que tenían como propósito abrir y cerrar el cuestionario. Se observa que al utilizar una escala Likert de 5 puntos, las medias fluctúan entre los 4 y 5 puntos, lo que refleja un alto interés en la introducción de una nueva tecnología inmersiva que permita entrenamientos continuos. Este resultado indica que existe una disposición favorable para la implementación del proyecto en el contexto del estudio. Además, se evidencia que actualmente existen deficiencias que impiden un entrenamiento recurrente, lo que refuerza la necesidad de utilizar tecnología como solución para abordar esta problemática. De este modo, la apertura y la identificación de las necesidades confirman la viabilidad de implementar la tecnología propuesta.

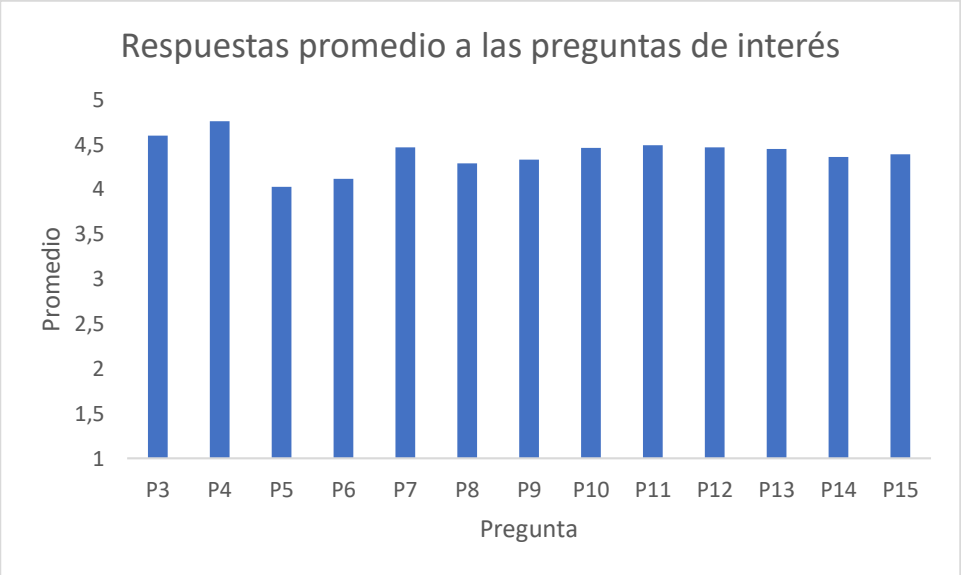


Figura 2. Respuestas promedio al cuestionario de interés

Las entrevistas realizadas permitieron identificar y documentar los requerimientos del sistema. Asimismo, se obtuvo una comprensión detallada de las herramientas forenses con las que se debe contar en el entorno virtual y su funcionamiento. Para la recopilación de los requerimientos se basa en el estándar IEEE 830, lo que asegura una metodología estructurada y clara. De esta manera, se garantiza que el entorno virtual contará con las características necesarias para satisfacer las necesidades de la institución y los peritos. Así, se optimiza la efectividad y funcionalidad del sistema en función de los requerimientos específicos. Los requerimientos levantados pueden verse en el Anexo D.

Sumado a las entrevistas, el investigador tuvo acceso al aula de entrenamiento para una capacitación básica en IOT. La capacitación reveló que los peritos de IOT utilizan la metodología PROFEC para el manejo adecuado y transparente de las evidencias de una escena del crimen. Este enfoque garantiza el cumplimiento estricto de la cadena de custodia, lo que es fundamental para preservar la integridad de las pruebas y fortalecer su validez tanto en las investigaciones como en los procesos judiciales. En la Figura 3 se evidencia claramente el proceso de la metodología POFREC. En consecuencia, la implementación de esta metodología no solo mejora la confiabilidad de las investigaciones, sino que también refuerza la transparencia y el rigor en el

trabajo de los peritos, asegurando una mayor objetividad y precisión en los resultados obtenidos.

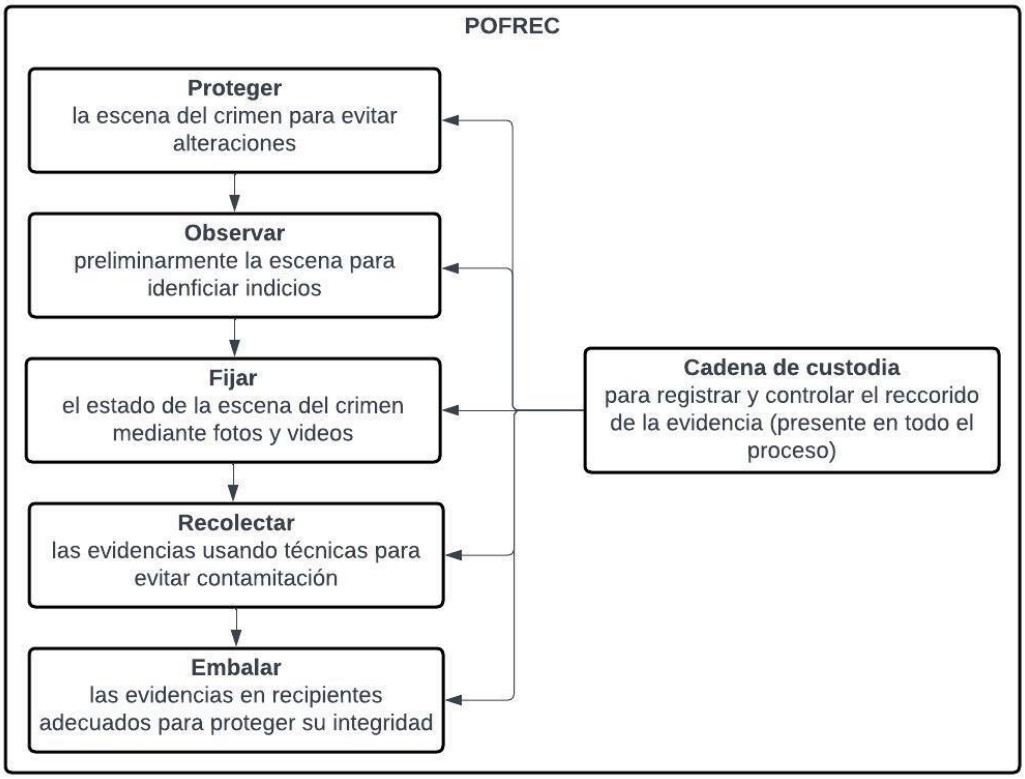


Figura 3. Metodología POFREC

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y selección de las herramientas de entornos virtuales inmersivos

Uno de los puntos más importantes para el desarrollo de una investigación es contar con las herramientas adecuadas para garantizar el cumplimiento de sus propósitos. Para ello, es esencial realizar un análisis de las herramientas, centrándose en aquellas que aborden de manera específica los aspectos relevantes de la investigación, con el fin de identificar las más adecuadas según las necesidades del proyecto. Una comparación entre las herramientas disponibles permitirá identificar las herramientas adecuadas para el proyecto. El identificar las herramientas adecuadas no solo permitirá el éxito del proyecto, sino también que sea viable con el tiempo.

3.1.1 Dispositivo de realidad virtual

Se ha determinado que el dispositivo de realidad virtual a utilizar para la presente investigación serán los Meta Quest 2 y 3. El motivo de la elección de la marca de Meta se debe a que en los requerimientos se ha especificado el funcionamiento del sistema en los dispositivos de esta marca. Los dispositivos de realidad virtual de Meta son los más accesibles del mercado, lo que los convierte en una opción ideal para su implementación. Además, al estar orientados a un público amplio, garantizan una mayor compatibilidad y facilidad de uso para los participantes del estudio. Su tecnología avanzada y su relación costo-beneficio los posicionan como la mejor alternativa.

3.1.2 Selección del motor de videojuegos

El motor de videojuegos constituye el componente fundamental para el desarrollo del proyecto, porque en él se integrarán todos los elementos generados con el fin de dotarlos de funcionalidad. Para poder identificar el motor de videojuegos apropiado para el proyecto, se opta por evaluar los más populares para entornos tridimensionales con soporte para realidad virtual. En consecuencia, cada motor será analizado en función de los lenguajes de programación soportados, curva de aprendizaje, soporte

para realidad virtual, costo, comunidad, plataformas para el desarrollo y los requisitos del editor. Los criterios establecidos se establecen basado en las necesidades del proyecto, recursos disponibles y viabilidad técnica. La Tabla 7 presenta los criterios de evaluación junto con la información correspondiente a cada motor de videojuegos analizado. A partir de este análisis, y con base en el conocimiento obtenido, se elabora la matriz de decisión mostrada en la Tabla 8, utilizando los mismos criterios y considerando además el criterio del dominio del autor. En esta matriz se asigna una puntuación del 1 al 5, donde 1 representa la valoración más baja y 5 la más alta.

Tabla 7. Cuadro comparativo de motores de videojuegos

Criterio	**Unreal Engine**	**Unity**	**Godot Engine**
Lenguajes de programación soportados	C++	C#	C++, C# y GDScript (basado en python)
Curva de aprendizaje	Alta (complejidad en herramientas avanzadas y optimización)	Moderada (documentación extensa y recursos abundantes)	Baja (diseño intuitivo, sintaxis simplificada y trabajo modular)
Soporte para realidad virtual	Soporte nativo (OpenXR, Oculus, entre otros)	Soporte amplio (Unity XR Toolkit)	Soporte intermedio (OpenXR)
Costo	Gratis hasta llegar al millón en ingresos, sino 5% en regalías	Gratis con el plan personal (con limitaciones)	Gratis bajo la licencia MIT, libre de pagos y regalías
Comunidad y documentación	Documentación profesional, amplia adopción en la industria AAA	Comunidad masiva, recursos abundantes, foros activos	Documentación detallada, comunidad activa y en crecimiento
Plataformas para desarrollo	Windows y macOS	Windows, macOS, Linux (experimental)	Windows, macOS, Linux, Android, Web
Requisitos del editor	Alto consumo de recursos (mínimo 100GB SSD, GPU dedicada)	Moderado (requiere hardware decente para proyectos complejos)	Ligero (funciona en hardware modesto, es portable por lo que no requiere instalación)

Tabla 8. Matriz de decisión para motor de videojuegos

Criterio	**Peso**	**Unreal Engine**	**Unity**	**Godot Engine**
Dominio del autor	0,25	1	1	4
Lenguajes de programación soportados	0,05	3	3	5
Curva de aprendizaje	0,10	2	4	5
Soporte para realidad virtual	0,10	5	4	3
Costo	0,10	4	4	5
Comunidad y documentación	0,15	5	5	3

Plataformas para desarrollo	0,05	3	4	5
Requisitos del editor	0,20	1	3	5
Total Ponderado	1	2,60	3,15	4,25

Mediante el uso de la matriz de decisión se determinó que Godot Engine es el motor de videojuegos más adecuado para el proyecto. Esta herramienta obtuvo un puntaje ponderado de 4,25, destacándose como la opción que mejor se ajusta a los criterios previamente definidos. Godot Engine es un motor de código abierto, portable y liviano, que permite el desarrollo de entornos tridimensionales con soporte para realidad virtual. Además, ha recibido soporte por parte de Meta para ofrecer compatibilidad nativa, lo cual resulta especialmente relevante, dado que el proyecto requiere funcionamiento en dispositivos Meta Quest 2 y 3.

3.1.3 Selección de la herramienta de modelado 3D

La herramienta de modelado 3D es fundamental para la generación de elementos tridimensionales que formarán parte del entorno virtual inmersivo. En consecuencia, para identificar la más apropiada se opta por realizar una comparativa entre las herramientas de modelado 3D más populares del mercado. Para la comparativa se toma en cuenta los criterios del costo, compatibilidad con motores de videojuegos, curva de aprendizaje, comunidad, uso, plataformas para desarrollo e integración con complementos. La Tabla 9 presenta los criterios de evaluación junto con la información correspondiente a cada herramienta de modelado 3D analizado. A partir de este análisis, y con base en el conocimiento obtenido, se elabora la matriz de decisión mostrada en la Tabla 10, utilizando los criterios establecidos. En esta matriz se asigna una puntuación del 1 al 5, donde 1 representa la valoración más baja y 5 la más alta.

Tabla 9. Cuadro comparativo de herramientas de modelado 3D

Criterio	Blender	Autodesk 3ds Max	Cinema 4D
Costo	Software de código abierto, libre de pagos y regalías	Software propietario, $1945 la licencia anual	Software propietario, $859 la licencia anual

Compatibilidad con motores de videojuegos	Compatibilidad nativa con los principales motores de la industria, usando formato FBX, glTF y obj	Compatibilidad configurable con Unity, usando el formato FBX	Compatibilidad usando el formato FBX, requiriendo de plugins
Curva de aprendizaje	Curva de aprendizaje media, contando con una interfaz intuitivamente baja.	Curva de aprendizaje pronunciada, requiere tener experiencia en el uso de este tipo de sistemas	Curva de aprendizaje baja, la herramienta cuenta con una interfaz intuitiva para principiantes
Comunidad y soporte	Al ser software libre cuenta con una gran comunidad y recursos para poder aprender	Brinda soporte técnico y documentación, sin embargo, comunidad es limitada por el costo de la herramienta	Brinda recursos educativos para el aprendizaje de la herramienta, además cuenta con soporte oficial y documentación clara
Uso	Videojuegos, cine, televisión y publicidad	Arquitectura y videojuegos	Publicidad, redes sociales y televisión
Plataformas para desarrollo	Windows, macOS y Linux	Windows y macOS	Windows
Integración con complementos	Extensiones y complementos gratuitos	Scripts y complementos de pago	Tienda de complementos de pago

Tabla 10. Matriz de decisión para herramienta de modelado 3D

Criterio	**Peso**	**Blender**	**Autodesk 3ds Max**	**Cinema 4D**
Costo	0,10	5	1	2
Compatibilidad con motores de videojuegos	0,25	5	4	3
Curva de aprendizaje	0,15	3	2	5
Comunidad y soporte	0,15	5	4	5
Uso	0,15	5	4	3
Plataformas para desarrollo	0,10	5	4	3
Integración con complementos	0,10	5	4	4
Total Ponderado	1	4,70	3,40	3,60

La matriz de decisión establece que Blender es la herramienta más adecuada para el proyecto, al obtener un puntaje ponderado de 4,70. Blender es una herramienta de código abierto que permite realizar modelado 3D, animación y texturizado, siendo fundamental para la generación de los modelos tridimensionales requeridos. Además, es uno de los formatos más comercializados en tiendas digitales de modelos 3D, lo que representa una ventaja clave para el proyecto al permitir la adquisición o reutilización

de recursos existentes, optimizando así el tiempo de desarrollo. Cabe destacar que Godot Engine ofrece compatibilidad nativa con Blender, lo que facilita la integración entre ambas herramientas y mejora la eficiencia del flujo de trabajo. Por estas razones, Blender será la herramienta principal para la generación de modelados tridimensionales en el proyecto, asegurando una solución económica, potente y compatible con las necesidades establecidas.

3.1.4 Selección de la herramienta de diseño 2D

La herramienta de diseño 2D permitirá crear elementos visuales bidimensionales que formarán parte del menú, contribuyendo a una experiencia de usuario más intuitiva y atractiva. Para seleccionar la herramienta más adecuada, es necesario evaluar aquellas que cumplen funciones similares, utilizando criterios como el costo, facilidad de uso, curva de aprendizaje, formatos soportados, compatibilidad con complementos, comunidad y disponibilidad de recursos educativos. La Tabla 11 presenta los criterios de evaluación junto con la información correspondiente a cada herramienta de diseño 2D analizado. En base a la información obtenida se elabora la matriz de decisión en base a los criterios establecidos, reflejándose en la

Tabla 12. En esta matriz se asigna una puntuación del 1 al 5, donde 1 representa la valoración más baja y 5 la más alta.

Tabla 11. Cuadro comparativo de herramientas de modelado 2D

Característica	Inkscape	Figma	Vectr
Costo	Es una herramienta gratuita con licencia libre.	Es una herramienta gratuita con opciones avanzadas de pago	Es una herramienta gratuita
Uso	Se enfoca en el diseño vectorial avanzado	Tiene enfoque en el diseño UI/UX y prototipado	Herramienta sencilla para diseños básicos
Curva de aprendizaje	Es una herramienta con una curva de aprendizaje media alta, porque no es intuitiva	Media (intuitivo pero con funciones avanzadas)	Baja (ideal para principiantes)
Formatos soportados	SVG, PNG, PDF, EPS, DXF	SVG, PNG, JPG, PDF	SVG, PNG, JPG
Complementos	Extensiones y scripts mediante instalación manual	Complementos de la comunidad, con un ecosistema intuitivo	No tiene soporte para complementos
Comunidad y soporte	No tiene soporte oficial, solo cuenta con	Cuenta con soporte oficial si se tiene un plan de pago, además	Tiene un soporte básico y una comunidad limitada

	respaldo de la comunidad	la comunidad es activa en redes sociales	
Recursos educativos	Brinda documentación técnica y se puede aprender mediante videos	Brinda cursos oficiales, plantillas gratuitas, además que su comunidad genera recursos educativos	Brinda guías básicas en su web y losa tutoriales suelen estar desactualizados

Tabla 12. Matriz de decisión de herramienta de diseño 2D

Criterio	Peso	Inkscape	Figma	Vectr
Costo	0,1	5	4	5
Uso	0,1	4	5	3
Curva de aprendizaje	0,2	3	4	5
Formatos soportados	0,25	5	4	3
Complementos	0,1	3	5	1
Comunidad y soporte	0,15	3	4	3
Recursos educativos	0,1	4	5	3
Total	1	3,90	4,30	3,40

La matriz de decisión avala que Figma es la herramienta óptima para el proyecto, contando con una puntuación de 4,30. Figma destaca por su facilidad de uso, soporte de múltiples formatos, amplia disponibilidad de recursos educativos y complementos. Estas características facilitan y agilizan el proceso de diseño, lo cual resulta especialmente beneficioso al tratarse de un trabajo desarrollado de forma individual, permitiendo optimizar el tiempo y mantener un flujo de trabajo eficiente. Además, la herramienta permite aprovechar elementos creados por otros usuarios y adaptarlos fácilmente a las necesidades específicas del proyecto, lo que contribuye a acelerar aún más el desarrollo.

3.2 Diseño de la propuesta

Para trabajar de manera eficiente con el motor de videojuegos Godot Engine, es fundamental comprender que su arquitectura se basada en nodos y escenas. Este enfoque permite la creación de elementos individuales reutilizables, los cuales pueden integrarse de forma modular dentro de otras escenas más complejas. Debido a esta característica, resulta esencial contar con una estructura organizativa clara que facilite

tanto el desarrollo como el mantenimiento del proyecto. De este modo se garantiza que en el futuro se pueda integrar nuevos elementos de forma más sencilla. Sin embargo, para lograr esto es imprescindible identificar los elementos que debe incorporar el simulador, en función de los requerimientos del sistema diseñado para el entorno virtual inmersivo.

3.2.1 Estructura de los mundos

La estructura de los mundos se ha diseñado de manera que el usuario pueda navegar fácilmente entre los distintos mundos disponibles en el sistema. En la Figura 4 se ilustra que, al ingresar al sistema, el participante accederá automáticamente a la escena del vestíbulo para explorar los mundos que tenga disponibles. Este enfoque garantizará la escalabilidad futura, permitiendo la incorporación de mapas tutoriales o escenas del crimen adicionales si fuera necesario. Además, cuando el usuario desee salir de un mundo, podrá regresar al vestíbulo y continuar navegando a otros mundos. Cabe mencionar que para el proyecto se ha solicitado una única escena del crimen, con el objetivo de validar la funcionalidad y aplicabilidad del entorno virtual inmersivo en el entrenamiento policial.

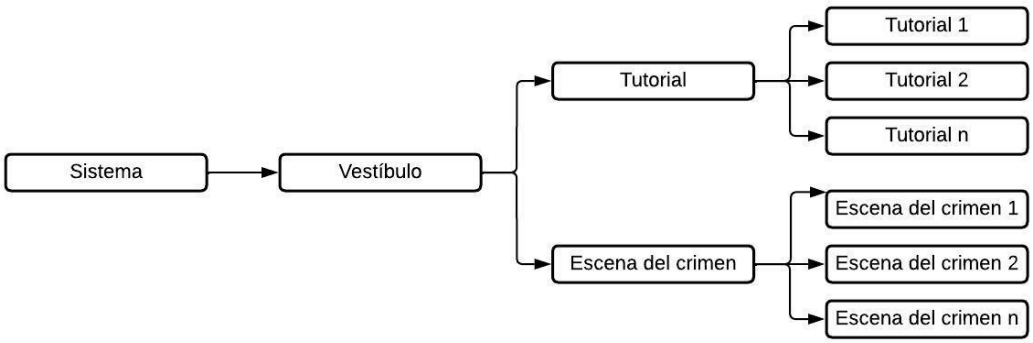


Figura 4. Esquema jerárquico de los mundos

3.2.2 Estructura de un mundo

La estructura de un mundo comprende todos los elementos que lo conforman, representando los componentes visuales, interactivos y ambientales que puede percibir el participante durante la experiencia. Estos elementos no solo definen la apariencia

del entorno, sino que también influyen en la inmersión. La Figura 5 presenta una organización clara de dicha estructura, con el objetivo de asegurar una experiencia envolvente, funcional y coherente para el usuario. De esta forma se evidencian dos grandes grupos que forman parte de un mundo, donde se diferencian en la capacidad de interacción que tiene el participante.

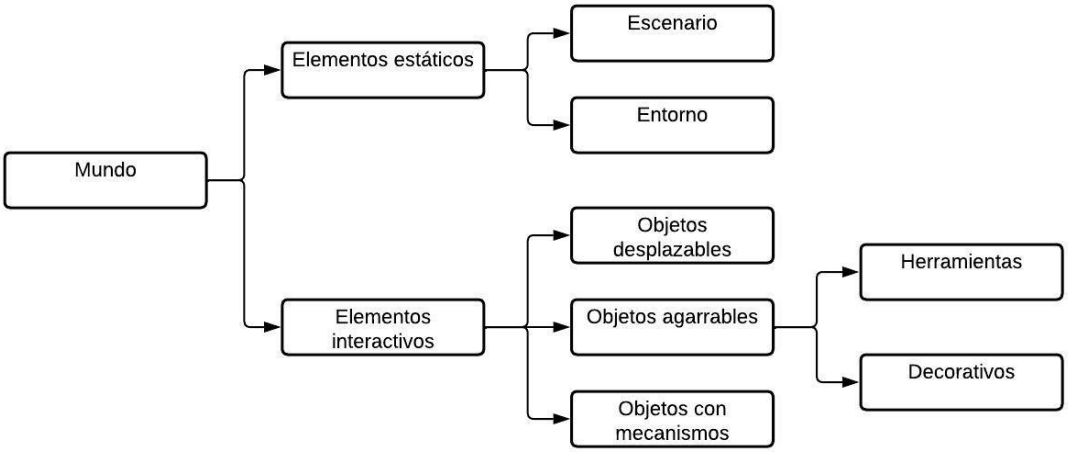


Figura 5. Esquema jerárquico de un mundo

Los elementos estáticos son aquellos que forman parte del entorno virtual y que no permite una interacción directa de parte del participante, estos se componen de lo siguiente:

- Escenario: Este componente representa los elementos que conforman la estructura, generalmente una vivienda. Incluye aquellos componentes arquitectónicos que no presentan interacción directa con el usuario, como paredes, suelos, techos y otros elementos estáticos que definen la distribución y los límites del espacio interior.

- Entorno: Este componente representa los elementos que conforman la parte externa del escenario, como calles, aceras, vegetación, iluminación ambiental y otros objetos decorativos del exterior. Al igual que el escenario, está compuesto por elementos que no requieren interacción directa con el usuario, pero que cumplen una función fundamental en la ambientación, el realismo y la inmersión del mundo virtual.

Los elementos interactivos son aquellos que forman parte del entorno virtual y que permiten una interacción directa por parte del participante, estos se componen de lo siguiente:

- Objetos desplazables: Los objetos desplazables son elementos de considerable tamaño que no debería poder agarrar el participante, por ende, se opta por permitir el desplazamiento de los mismos.

- Objetos agarrables: Son elementos que el participante puede tomar y sostener con la mano dentro del entorno virtual. Se dividen en dos categorías principales: herramientas y objetos decorativos. Las herramientas se utilizan para realizar tareas relacionadas con el procesamiento de la escena del crimen. Por otro lado, los objetos decorativos forman parte del entorno virtual, pero pueden adquirir relevancia dentro de la investigación, porque algunos de ellos constituyen evidencia de un crimen y deben ser procesados.

- Objetos con mecanismos: Son elementos que poseen una interacción específica o compleja dentro del entorno virtual. Estos objetos están diseñados para activar eventos, responder a ciertas herramientas o desencadenar cambios en el entorno.

3.2.3 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema ha sido diseñada para ser completamente autónoma e independiente, lo cual se representa de manera fiel en la Figura 6. Esta arquitectura garantiza que la aplicación esté siempre operativa, siempre que se disponga de un dispositivo de realidad virtual. Al instalar la aplicación directamente en el dispositivo, se asegura su funcionamiento continuo sin depender de conexiones externas, servicios de terceros o acceso a internet. De esta manera, se aprovecha plenamente la capacidad de autonomía que ofrecen los dispositivos Meta, permitiendo una experiencia inmersiva constante y confiable.

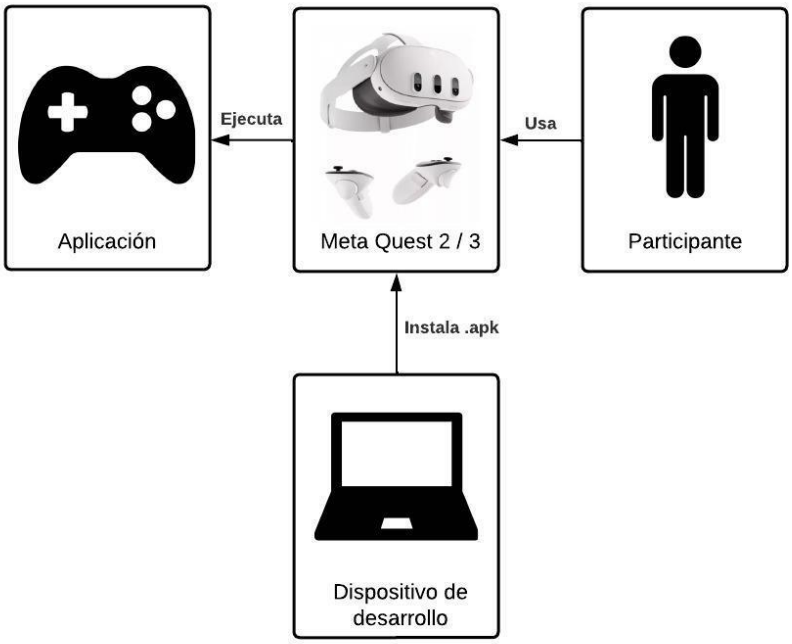


Figura 6. Arquitectura del sistema

3.3 Desarrollo del software para el entrenamiento de los peritos de criminalística en inspección ocular técnica

El desarrollo de la propuesta constituye una parte fundamental del proyecto, porque en esta etapa se lleva a cabo la construcción del sistema. Esta fase no solo se centra en la implementación de la solución, sino también en la aplicación de una metodología ágil de trabajo que facilite una gestión eficiente. Asimismo, se consideran procesos de despliegue, validación y pruebas que aseguran el correcto funcionamiento del sistema propuesto. De esta manera, se presenta el desarrollo de forma clara, estructurada y coherente.

3.3.1 Desarrollo ágil

La metodología aplicada para el desarrollo del proyecto es Kanban, un marco de trabajo ágil orientado al desarrollo de software. Kanban se caracteriza principalmente por la gestión visual del trabajo, permitiendo visualizar el estado de las tareas mediante el uso de un tablero de estados. Este marco de trabajo promueve un flujo constante de tareas, facilitando la detección temprana de problemas. Además, permite la revisión

periódica del avance, asegurando la retroalimentación continua y la aceptación progresiva del trabajo realizado. De este modo, bajo el marco ágil de trabajo se ha establecido las actividades de la Tabla 13, donde se hace presente la ejecución en un plazo de 16 semanas.

Tabla 13. Actividades del tablero Kanban

Actividad	Semana
Diseñar encuesta y entrevista	Semana 1
Realizar encuestas y entrevistas	Semana 1
Definir requerimientos funcionales y no funcionales	Semana 2
Examinar herramientas para el desarrollo	Semana 2
Definir herramientas para el desarrollo	Semana 2
Diseño de las manos del jugador	Semana 3
Programación de las mecánicas del jugador	Semana 3
Testeo de las mecánicas del jugador	Semana 3
Verificación con el cliente sobre las acciones del jugador	Semana 4
Diseño de los objetos desplazables	Semana 4
Programación de los objetos desplazables	Semana 5
Testeo de los objetos desplazables	Semana 5
Verificación con el cliente sobre los objetos desplazables	Semana 6
Diseño de los objetos agarrables de tipo herramienta	Semana 6
Programación de los objetos agarrables de tipo herramienta	Semana 7
Testeo de los objetos agarrables de tipo herramienta	Semana 7
Verificación con el cliente sobre los objetos agarrables de tipo herramienta	Semana 8
Diseño de los objetos agarrables de tipo decorativo	Semana 8
Programación de los objetos agarrables de tipo decorativo	Semana 9
Testeo de los objetos agarrables de tipo decorativo	Semana 9
Verificación con el cliente sobre los objetos agarrables de tipo decorativo	Semana 10
Diseño de los objetos con mecánicas	Semana 10
Programación de los objetos con mecánicas	Semana 11
Testeo de los objetos con mecánicas	Semana 11
Verificación con el cliente sobre los objetos con mecánicas	Semana 12
Diseño de los elementos de las interfaces de usuario	Semana 12
Programación de las interfaces de usuario	Semana 13
Testeo de las interfaces de usuario	Semana 13
Verificación con el cliente sobre las interfaces de usuario	Semana 14
Diseño de los elementos de los mundos	Semana 14
Construcción de los mundos	Semana 14
Testeo de los mundos	Semana 14
Verificación con el cliente sobre los mundos	Semana 15
Probar el sistema con un conjunto de peritos del DMQ de planta central	Semana 15

Encuestar a un conjunto de peritos del DMQ de planta central que hayan usado el sistema	Semana 15
Analizar resultados de la encuesta	Semana 16

Para optimizar el proceso de diseño de modelos 3D, se ha decidido utilizar modelos disponibles en tiendas especializadas. Esta decisión se basa en que, para dar vida al entorno virtual de la escena del crimen, se requieren elementos cotidianos que pueden encontrarse fácilmente en dichos repositorios. Esta estrategia permitirá reducir significativamente el tiempo dedicado al diseño de modelos 3D. No obstante, en caso de no encontrar un modelo que se ajuste a las necesidades específicas del proyecto, se procederá con el desarrollo personalizado del mismo.

El sistema será implementado de forma piloto, de modo que se pueda verificar el funcionamiento con determinados participantes. De este modo queda en decisión de la organización que sea usado en el futuro.

3.3.2 Configuración del proyecto

El motor de videojuegos viene con una configuración por defecto, a la cual se le tienen que realizar ciertos cambios para que funcione de manera óptima en los dispositivos de realidad virtual. Estas modificaciones son fundamentales para garantizar un funcionamiento estable y fluido del sistema en entornos inmersivos. Además, se opta por agregar complementos que permiten un desarrollo más eficiente del proyecto. Estos complementos son de uso libre y gratuito, que a su vez son compatibles con la versión del motor a usar. La Tabla 14 recoge los cambios y complementos implementados al motor.

Tabla 14. Configuraciones y complementos de Godot Engine para realidad virtual

Configuración/Complemento	**Descripción**
Renderizador	Se requiere que el motor gráfico del motor de videojuegos esté configurado en *Compatibility*, esto permite que sea compatible con dispositivos de realidad virtual.
OpenXR	Es el estándar para la integración con realidad virtual, por ende, se lo debe activar. Además, en el apartado se deben activar los *Shaders* y definir la gestión de la posición como *Local*.
Jolt Physics	Es un complemento que sirve para las físicas en entornos tridimensionales, mejora el realismo y rendimiento. El complemento de físicas es una alternativa mejor a las físicas por defecto del motor.

Cyclops Level Builder	Es un complemento que facilita la creación de entornos tridimensionales, mediante una interfaz visual e intuitiva.
Godot XR Tools	Es un complemento que brinda herramientas para el desarrollo de experiencias inmersivas. Incluye componentes, funciones y elementos prediseñados que facilitan la implementación de interacciones dentro del entorno virtual, optimizando el tiempo y la calidad del desarrollo.
XR Input Simulator	Es un complemento que permite realizar pruebas rápidas del proyecto sin hacer uso de un dispositivo de realidad virtual. Las pruebas se realizan directamente en la herramienta de desarrollo, realizando traducciones de las entradas del teclado.

3.3.3 Jugador

El entorno virtual inmersivo requiere de la presencia del jugador, que en este caso sería la representación virtual de la persona que haga uso del entorno virtual. El jugador debe contar con los elementos y mecánicas necesarios para poder interactuar con el entorno virtual. La interacción que tenga el jugador con el entorno debe ser fluida y coherente para evitar la pérdida de la inmersión. De este modo, el jugador no solo es un observador, sino también un participante activo del entorno virtual. En consecuencia, debe ser capaz de modificar, explorar y reaccionar ante los estímulos virtuales.

a. Elementos del jugador

Godot Engine opera bajo un sistema jerárquico de nodos, en el cual cada nodo posee propiedades y funcionalidades específicas que no se repiten entre sí. Esta estructura modular permite asignar diferentes comportamientos y características según las necesidades del proyecto. Bajo este enfoque, la construcción del jugador debe contemplar aspectos clave relacionados con la interacción en entornos tridimensionales y el uso de tecnologías inmersivas. En este contexto, la Tabla 15 detalla los nodos utilizados para la conformación del jugador dentro del entorno virtual.

Tabla 15. Estructura básica para el jugador

Nodo	Función	Descripción
XROrigin3D	Nodo base para realidad virtual	Nodo principal para definir el punto de referencia del jugador en el entorno

		tridimensional en realidad virtual. Este nodo es base para organizar los demás componentes.
XRCamera3D	Seguimiento del visor	Nodo que representa el visor de realidad virtual. Permite obtener una perspectiva en primera persona, actualizada en tiempo real con el movimiento del usuario.
XRController3D	Seguimiento de los controladores	Nodo que representa uno de los controladores para realidad virtual. Se requiere de mínimo dos instancias (izquierda y derecha) para seguimiento, rotación y posición de los controladores en el entorno tridimensional.

b. Mecánicas del jugador

En el entorno virtual, el jugador debe tener la capacidad de ejecutar diversas acciones, conocidas como mecánicas, las cuales definen el conjunto de interacciones posibles dentro del sistema. La implementación de estas mecánicas se realiza mediante el uso de escenas, que es una característica del motor de videojuegos seleccionado. Una escena en Godot es una estructura de nodos que puede ser reutilizada e incorporada dentro de otras escenas, lo que permite una estructura modular y escalable. En este contexto, dentro de la escena correspondiente al jugador, se integran otras escenas a los nodos *XRController3D*, lo cual posibilita la incorporación de diferentes mecánicas de interacción según los requerimientos del entorno virtual. De este modo, la Tabla 16 contiene las mecánicas que el jugador puede ejecutar en el entorno virtual.

Tabla 16. Mecánicas del jugador

Mecánica	**Función**	**Escena asociada**	**Origen**
Teletransporte	El jugador podrá desplazarse por el entorno, esto mediante el teletransporte	FunctionTeleport PlayerBody	Godot XR Tools
Abrir/Cerrar menú	El jugador podrá abrir una interfaz de usuario al estar en mundos que no sean vestíbulos. Este menú sigue al jugador hasta que lo cierre o termine de ejecutar una acción.	FunctionShowMenu	Investigador
Navegar en el menú	El jugador podrá mover en las distintas direcciones que permita el menú.	FunctionNavigateMenu	Investigador
Seleccionar en el menú	El jugador podrá confirmar la opción seleccionada del menú.	FunctionSelectionMenu	Investigador

Agarrar objetos	El jugador podrá agarrar los objetos del entorno que puedan ser llevados en la mano.	FunctionPickup	Godot XR Tools
Desplazar objetos	El jugador podrá desplazar objetos de gran tamaño, los cuales no pueden ser llevados en la mano	FunctionMovable	Investigador
Agacharse	El jugador podrá agacharse en el entorno virtual, evitando realizar el agachado en el entorno real	MovementCrouch	Godot XR Tools

La construcción del jugador queda representado fielmente en la Figura 7. Esta implementación permite disponer de una escena modular que puede ser incorporada en distintos mundos del entorno virtual, permitiendo ubicar al jugador en diferentes posiciones iniciales según los requerimientos específicos de cada escenario. Además, se integraron las escenas correspondientes a las manos izquierda y derecha dentro de los nodos *XRController3D*, proporcionados por el complemento **Godot XR Tools**. Estas escenas incluyen modelos tridimensionales de las manos, los cuales permiten la representación de gesticulaciones al presionar determinados botones en los controladores, mejorando así la inmersión e interactividad del entorno virtual.

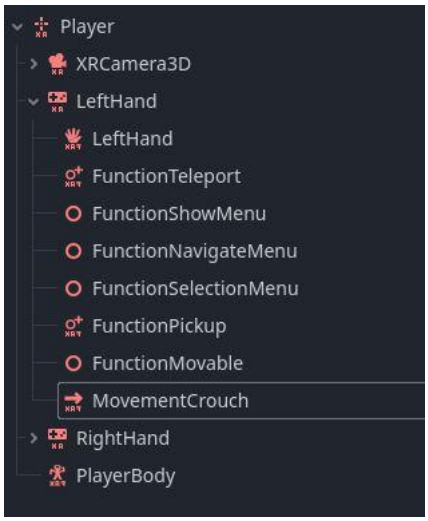


Figura 7. Escena del jugador

Es fundamental que las mecánicas del jugador se activen únicamente en el momento adecuado. Por esta razón, en la Figura 8 se presentan los diferentes estados en los que el jugador puede encontrarse.

En el Estado 1, se agrupan las mecánicas disponibles durante el modo normal, donde el jugador puede interactuar libremente con los elementos del entorno. En el Estado 2,

se incluyen las mecánicas que se activan cuando el jugador interactúa con una interfaz de usuario.

Cabe destacar que cada mano del jugador funciona de manera independiente, lo que permite que una mano esté operando en un estado mientras la otra se encuentra en otro. No obstante, se ha establecido una restricción que permite abrir únicamente una instancia del menú a la vez. Por tanto, si una mano ya ha activado el menú, la otra no podrá generar una nueva instancia de este.

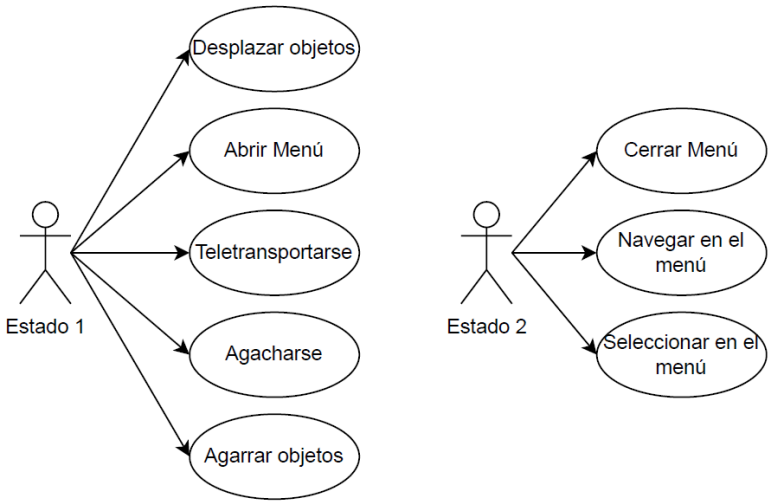


Figura 8. Diagrama de casos de uso del jugador según estados

En el Anexo E se pueden visualizar las mecánicas del jugador en el entorno virtual inmersivo.

3.3.4 Objetos desplazables

Los objetos desplazables o movibles, son elementos de considerable tamaño presentes en el entorno virtual que en la vida real no se podría llevar en la mano. Este tipo de objetos no están sujetos a la física, evitando que al existir la interacción con el jugador se caiga por una mala manipulación. La Figura 9 demuestra los nodos básicos para los objetos desplazables. De este modo, se puede optar por generar una escena básica y realizar herencia de escenas. El proceso de herencia de escenas consiste en que a partir de una escena construida se puedan generar escenas con características propias basado en la instancia padre.

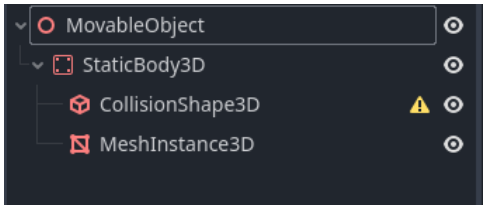


Figura 9. Escena básica para los objetos desplazables

Donde se conoce que:

- *MovableObject*: Es un nodo de tipo *Node3D* que actúa como contenedor principal para otros nodos, permitiendo estructurar jerárquicamente una escena. Actúa como un agrupador, en caso de que se requieran escenas compuestas (escenas agarrables dentro de escenas desplazables).

- *StaticBody3D*: Se utiliza para representar objetos que no están afectados por las físicas del motor, lo cual es ideal para evitar que un objeto desplazable se caiga o se mueva involuntariamente.

- *CollisionShape3D*: Permite establecer la forma de las colisiones. Para el presente caso, permitirá conocer las áreas de interacción del objeto con la mecánica de desplazamiento.

- *MeshInstance3D*: Se utiliza para representar visualmente el modelo 3D. En este caso, los modelos se importan mediante archivos *.obj* y se visualizan a través de este tipo de nodo.

Los objetos desplazables deben responder a la mecánica de desplazar objetos del jugador. Por ende, el jugador debe poder ejecutar la acción al sentir un estímulo visual que le confirme que puede hacerlo. En consecuencia, el estímulo visual es visible cuando el jugador detecta con la mano un objeto desplazable. De este modo, la mecánica interactuaría con el objeto desplazable de la forma que se muestra en la Figura 10. El estímulo visual asignado es un rayo color rojo que es visible únicamente cuando el jugador apunta a un objeto desplazable.

Los modelos 3D pertenecientes a la categoría de objetos desplazable son visibles en el Anexo F. Dado los modelos utilizados, se puede brindar mayor inmersión al contar con elementos que son comunes en la vida real.

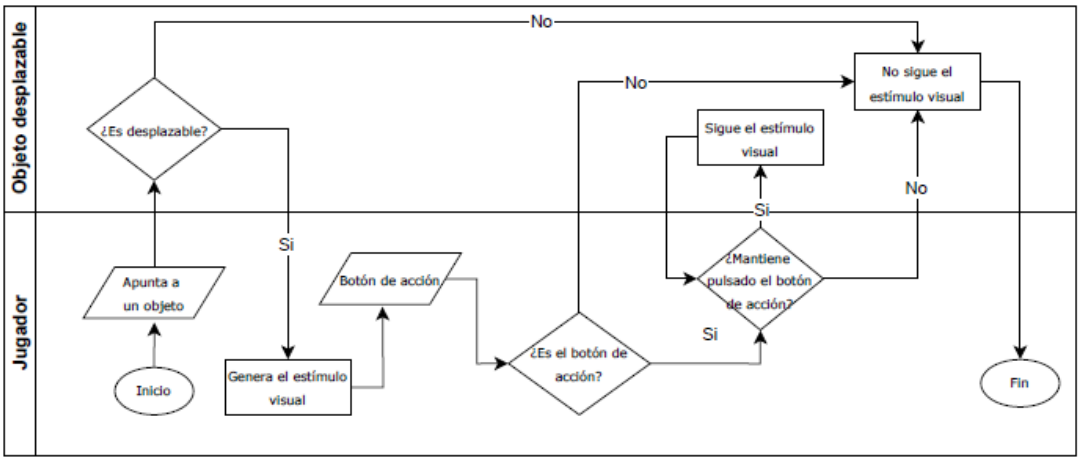


Figura 10. Diagrama de flujo de la interacción entre el jugador y el objeto desplazable

3.3.5 Objetos agarrables

Los objetos agarrables son elemento que el jugador puede llevarlos en la mano. Este tipo de objetos forman parte o pueden llegar a formar parte del entorno, dependiendo del tipo de objeto que sea. Para la creación de esta escena, se opta por generar una escena base realizando herencia de la escena *PickableObject* de **Godot XR Tools**, el cual cuenta con la lógica necesaria para poder agarrar los objetos. Sin embargo, la escena proporcionada cuenta con una estructura básica, por ende, para tener una mejor interactividad e inmersión se agregan otras escenas que también son parte de la librería. De este modo, se conoce que la escena básica de los objetos agarrables construida queda demostrada en la Figura 11. De este modo, se puede generar otras escenas en base a la construida mediante herencia, y a su vez se pueden integrar escenas agarrables dentro de las escenas desplazables, facilitando la construcción de elementos compuestos.

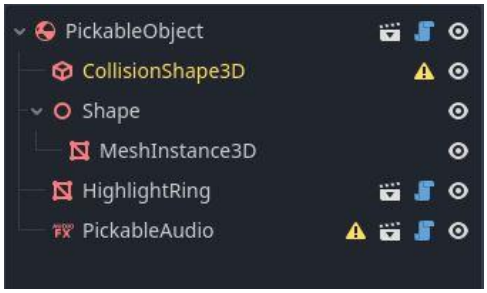


Figura 11. Escena básica para los objetos agarrables

Donde se conoce que:

- *PickableObject*: Es un nodo de tipo *RigidBody3D* heredado, que se utiliza para representar objetos que están afectados por las físicas del motor.
- *CollisionShape3D*: Es un nodo heredado que se utiliza para definir la forma de colisión del objeto y como interactúa con los otros.
- *Shape*: Es un nodo de tipo *Node3D* que permite agrupar nodos. Tiene la finalidad de tener en un solo lugar la forma visual del objeto.
- *MeshInstance3D*: Define la forma visual del objeto, donde a partir del nodo se puede establecer la forma al colocar un modelo en formato *.obj* para importarlo.
- *HighlightRing*: Es una escena de la librería **Godot XR Tools** que está configurada para generar un estímulo visual cuando la mano del jugador está cerca del objeto para que pueda ser agarrado.
- *PickableAudio*: Es una escena de la librería **Godot XR Tools** que está configurada para generar un estímulo auditivo cuando un objeto es agarrado satisfactoriamente por la mano del jugador.

Los objetos agarrables deben responder a la mecánica de agarrar objetos del jugador. El éxito de la mecánica garantiza que el entorno sea interactivo con el jugador y no exista la perdida de la inmersión. La Figura 12 evidencia el funcionamiento de la interacción entre el jugador y el objeto agarrable. De este modo se garantiza que existan estímulos suficientes que permitan que la mecánica pueda ser utilizada exitosamente.

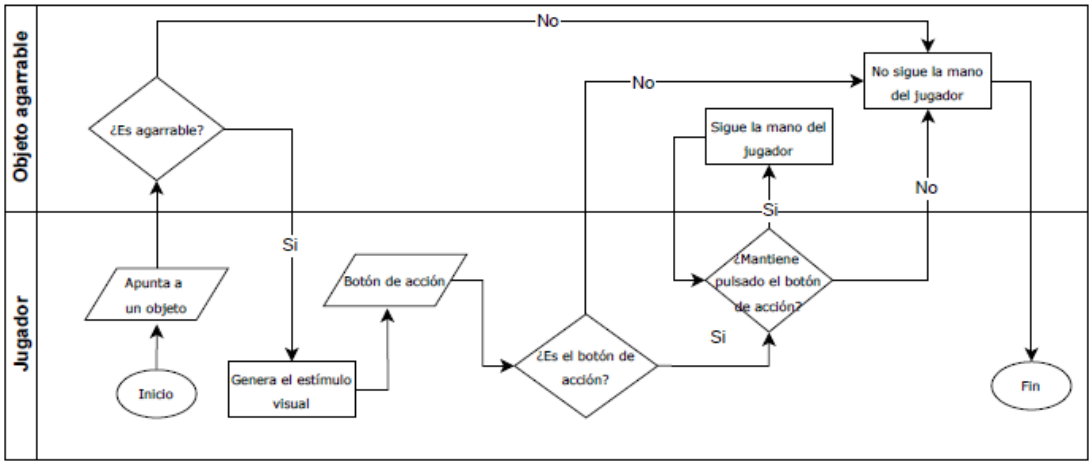


Figura 12. Diagrama de flujo de la interacción entre el jugador y el objeto agarrable

c. Herramientas

Dentro de los objetos agarrables se encuentran las herramientas, un conjunto especializado de elementos destinados al procesamiento de la escena del crimen. El uso de estas herramientas permite aplicar la metodología correspondiente para el adecuado tratamiento de la escena. Cada herramienta cumple una función específica para los profesionales, por lo que en el entorno virtual inmersivo se recrea su funcionamiento de manera fiel. Estas herramientas no forman parte del mundo virtual de forma predeterminada, sino que el jugador debe invocarlas según las necesidades que perciba, creando instancias de ellas a través de un menú. La Tabla 17 describe las herramientas disponibles en el entorno virtual inmersivo, mientras que el Anexo G contiene los modelos 3D de cada herramienta.

Tabla 17. Herramientas del entorno virtual inmersivo

Herramienta	**Función**	**Modo de uso**	**Propósito**
Cinta de seguridad	Delimitar de forma visual áreas	Agarrar y colocar	Proteger la escena para que terceros no tengan acceso
Numerador	Marcar indicios de evidencia (numérico) o cadáver (alfabético)	Agarrar y colocar	Identificar y organizar indicios para su análisis
Testigo métrico	Medir dimensiones de un objeto	Agarrar y colocar	Obtener medidas exactas para la parte documental
Medidor laser	Medir dimensiones del entorno	Agarrar y apuntar	Obtener medidas exactas para la parte documental

Pincel para revelado de huellas dactilares	Revelar huellas dactilares a través del uso de reactivos físicos o químicos de acuerdo a lo que el especialista vea necesario	Agarrar y aplicar	Detectar huellas dactilares ocultas para su preservación
Adhesivo para huellas	Transfiere las huellas dactilares del entorno a la superficie de conservación	Agarrar y aplicar	Preservar huellas dactilares para estudio
Luz forense	Ilumina superficies para detectar indicios que no son visibles a simple vista. El color de luz depende de lo que seleccione el especialista	Agarrar y apuntar	Revelar indicios ocultos
Visor	Visualizar indicios que no son visibles a simple vista	Se aplica automáticamente y sigue la vista del jugador	Elemento adicional necesario para usar con luz forense
Hisopo	Recoger muestras biológicas de la escena del crimen	Agarrar y aplicar	Obtener muestras de rastros biológicos para estudio
Cámara fotográfica forense	Capturar imágenes del entorno con distintos tipos de modo, de acuerdo a las necesidades.	Agarrar y usar	Documentar de forma visual la escena del crimen y los indicios encontrados

d. Decorativos

Los objetos decorativos son elementos presentes en el entorno virtual que enriquecen la experiencia del usuario. Suelen tener un tamaño manejable, lo que permite que el jugador los lleve en la mano. Además de cumplir una función estética, estos objetos pueden adquirir un rol crucial dentro del entrenamiento, convirtiéndose en posibles evidencias dentro de una escena del crimen. Esto les otorga un valor adicional, porque pueden representar indicios clave que deben ser considerados durante el procesamiento de la escena. A estos indicios se les debe dar el respectivo manejo y preservación, para ello el jugador debe poder embalar los indicios en paquetes especializados.

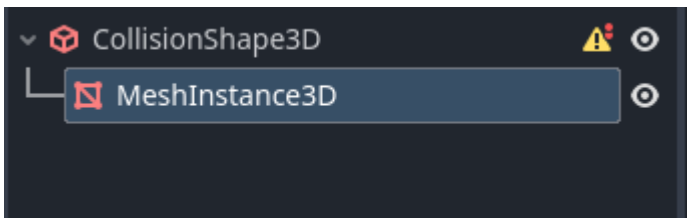


Figura 13. Escena básica para los paquetes

Para garantizar un funcionamiento correcto y escalable, se opta por crear una escena base para los paquetes. Esta estrategia permite, en caso de ser necesario, agregar fácilmente más paquetes mediante la herencia de escenas. La Figura 13 muestra los

nodos esenciales que componen la escena de los paquetes, la cual está formada únicamente por dos nodos principales. Esta estructura reducida se debe a que se modificará internamente la composición básica del objeto agarrable, específicamente del nodo agrupador generado de nombre *Shape* y el nodo *CollisionShape3D*, insertando una nueva instancia en su interior donde:

- El *CollisionShape3D* va a redefinir la forma de la colisión
- El *MeshInstance3D* va a redefinir la forma visual del objeto

Como resultado se obtienen los modelos 3D de los objetos decorativos visibles en el Anexo H, mientras que el Anexo I contiene los modelos 3D de los paquetes para embalaje.

3.3.6 Objetos con mecánicas

El entorno virtual cuenta con elementos los cuales tienen interacciones especiales. Estos elementos tienen comportamientos dinámicos que dependen tanto de la acción directa del jugador como del uso de herramientas específicas. Cada uno de ellos actúa según su naturaleza, reaccionando de forma única ante distintos estímulos. Estas reacciones están cuidadosamente diseñadas en función del contexto de la escena del crimen. De este modo, se logra una simulación más realista y envolvente para el análisis forense interactivo.

e. Puertas

Las puertas son elementos esenciales en la arquitectura de una vivienda, porque permiten dividir y acceder a diferentes espacios dentro de la misma. Una de sus características principales es que pueden girar sobre un eje fijo. Por esta razón, en un entorno virtual inmersivo es importante replicar este comportamiento cuando el usuario interactúe con una puerta.

Para implementarlo, se parte de la escena base que permite el agarre de objetos. Desde esta base, se crea un objeto cuya forma es invisible, pero que mantiene activadas las colisiones. Esto permite que el jugador pueda sujetar e interactuar con el objeto sin

verlo visualmente. La Figura 14 muestra cuenta con la escena necesaria donde el objeto no es visible, pero responde a las colisiones.

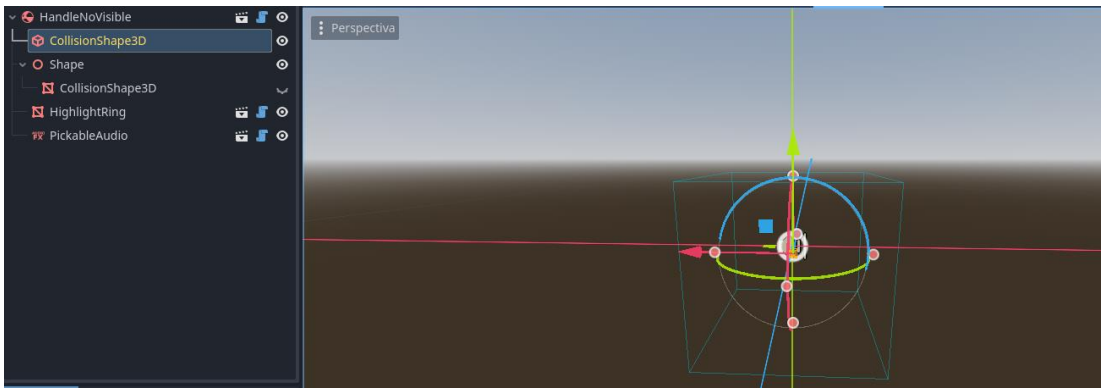


Figura 14. Escena invisible con colisiones

Una vez construida la escena del objeto agarrable invisible, esta puede ser incorporada dentro de otra escena, permitiendo su funcionamiento como un elemento interactivo. A partir de esta base, se procede a la creación de la escena correspondiente a la puerta, la cual se estructura principalmente en tres componentes: un nodo estático, un nodo sujeto a físicas y un nodo encargado de la rotación.

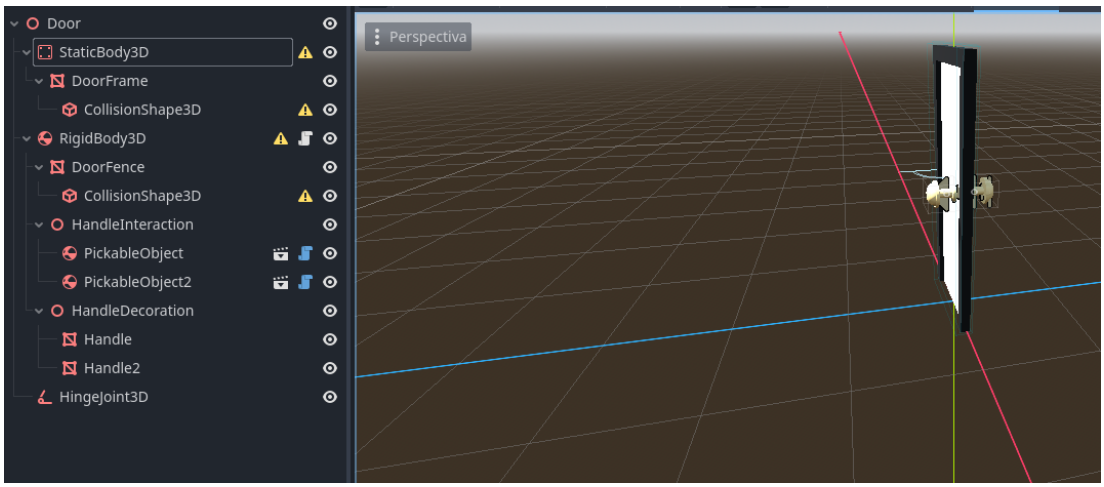


Figura 15. Escena de la puerta

En la Figura 15 se puede observar que el nodo *RigidBody3D* presenta una estructura jerárquica más compleja. Esta incluye, además de la forma y colisión de la puerta, los objetos agarrables invisibles y las representaciones visuales de las manijas. El objetivo

de esta estructura es garantizar que, al producirse el movimiento de la puerta, todos los elementos asociados se desplacen de manera conjunta alrededor del nodo estático, manteniendo la coherencia en la interacción del entorno virtual. Además, de forma interna se debe identificar el lado de rotación por el que el jugador activa el movimiento. Para la rotación se ocupa un sistema de líderes y esclavos, donde uno de los objetos agarrables al ser tomado en mano activa la rotación y los demás elementos lo siguen.

f. Muestras biológicas

En el marco de la investigación y el procesamiento de la escena del crimen, es común encontrar muestras biológicas de los implicados en el delito. Este tipo de evidencia resulta crucial para obtener información clave sobre el suceso y los involucrados. Para su implementación en el entorno virtual, se requiere la construcción de una escena interactiva que permita el uso de diversas herramientas forenses, tales como la cámara forense, el hisopo, la linterna y el visor. Esto se debe principalmente porque la zona a inspeccionar puede haber sido manipulada o limpiada, lo que dificulta la identificación de la evidencia. En estos casos es necesario recurrir a herramientas forenses para revelar y analizar la evidencia de manera más efectiva. En este contexto, la sangre se establece como la sustancia a tratar dentro de la escena virtual.

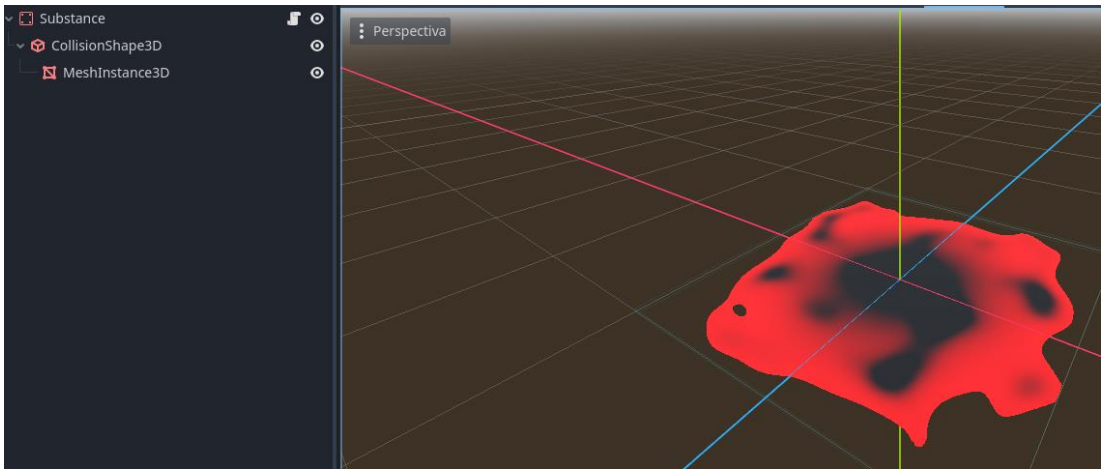


Figura 16. Escena de la sangre

La Figura 16 muestra que la escena está compuesta por tres nodos principales: *StaticBody3D*, *CollisionShape3D* y *MeshInstance3D*. Se trata de una estructura

sencilla para escenarios que no requieren alta complejidad. Esta configuración responde a la necesidad de que la escena reaccione ante otras escenas, y no al contrario. En este contexto, la linterna en conjunto con el visor adecuado y la cámara utilizando el filtro correspondiente, emplean nodos *RayCast3D* para detectar si existe colisión con una sustancia. En caso de que la sustancia sea invisible, el sistema permite su revelado. Por otro lado, el hisopo hace uso de un nodo *Area3D* para identificar si ha ingresado en el área donde se encuentra la sustancia, lo que provoca un cambio de color en el hisopo para indicar la recolección. La Figura 17 representa correctamente este proceso, de modo que se puede observar la capacidad de interacción entre las escenas.

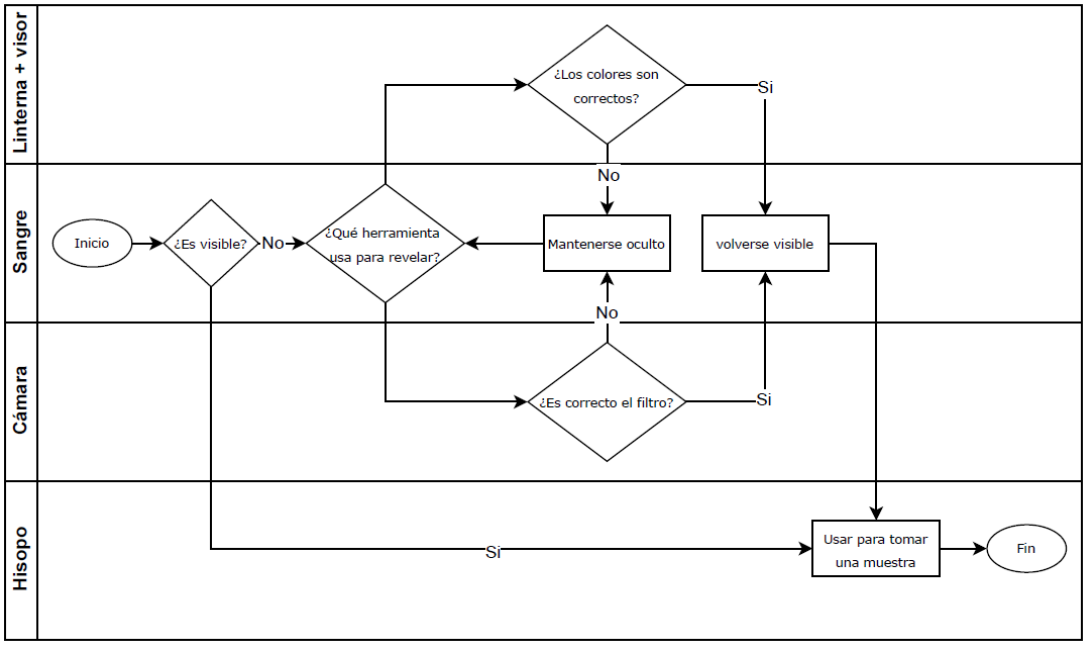


Figura 17. Diagrama de flujo para la interacción con la sangre

La escena de la sangre hace uso de un *shader* aplicado a un MeshInstance3D. El *shader* permite definir el color del objeto. Además, el *shader* ofrece la posibilidad de modificar la forma y variación de tonalidades dentro de un mismo elemento. Esto brinda una mayor capacidad de personalización visual y un acabado más realista. En la Figura 18 se muestra la construcción del *shader* utilizando el sistema visual de Godot.

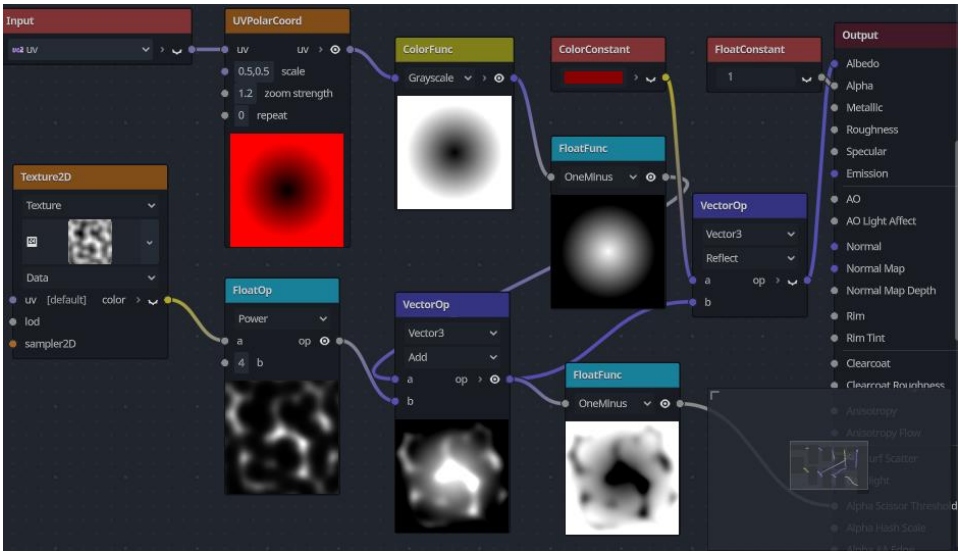


Figura 18. Construcción del shader

g. Huellas dactilares

Las huellas dactilares son otro de los elementos más comunes que se pueden encontrar en una escena del crimen. Esto puede permitir al perito reproducir mentalmente los hechos. La implementación de este elemento en el entorno virtual puede verse en la Figura 19 donde se evidencia que tiene una estructura similar a la sangre.



Figura 19. Escena de la huella dactilar

La escena construida debe ser capaz de interactuar con otras. En este caso, la huella responde a herramientas forenses como el pincel para revelado y el adhesivo para levantamiento. Ambas utilizan un nodo *Area3D* para detectar la entrada de un cuerpo.

El pincel revela la huella solo si se aplica con el reactivo correcto. En cambio, el adhesivo, al detectar la huella, la incorpora como parte de sí mismo. La Figura 20 identifica claramente la interacción de la huella con otras escenas.

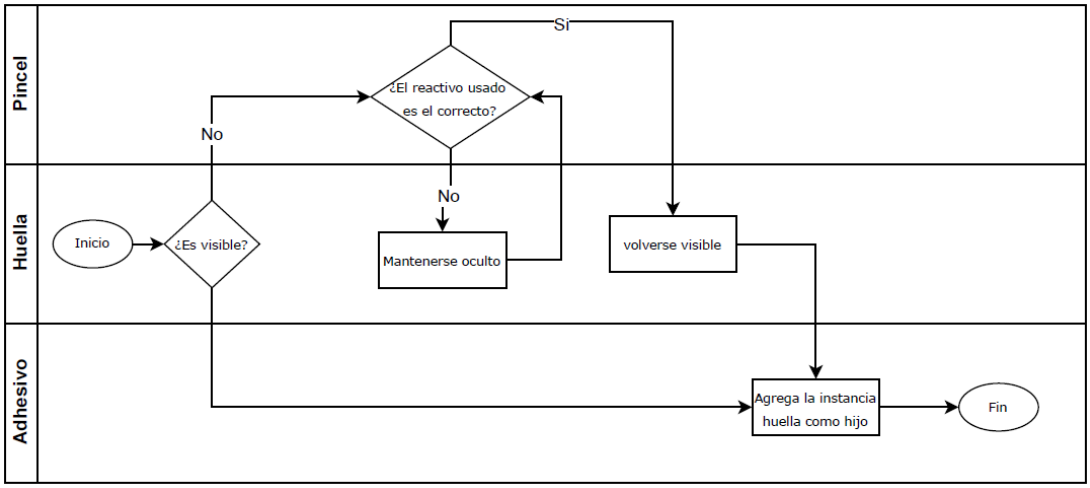


Figura 20. Diagrama de flujo para la interacción con la huella

3.3.7 Interfaz de usuario

Las interfaces de usuario son un elemento clave que garantiza la comunicación entre el jugador y el sistema. Estas pueden ser estáticas, cuando solo proporcionan información, o dinámicas, cuando permiten la interacción directa del jugador para ejecutar acciones dentro del entorno. Es fundamental que las interfaces estén organizadas, con el fin de mantener coherencia y favorecer la usabilidad. Una buena organización contribuye significativamente al proceso de aprendizaje del jugador, facilitando la comprensión y el uso eficiente del sistema.

La construcción de interfaces dinámicas requiere un tratamiento especial, porque estas deben permitir la interacción activa del jugador. Para ello, se opta por generar escenas base que centralicen la lógica de interacción, y a partir de estas, se realiza la herencia de escenas para optimizar el trabajo de desarrollo. Se han establecido un total de tres escenas padre, según el tipo de interacción requerida: movimiento horizontal, movimiento vertical y movimiento por cuadrículas. Estas interfaces base permiten derivar nuevas escenas de interfaz, reutilizando estructuras comunes. Como se observa

en la Figura 21, Figura 22 y Figura 23 todas las escenas comparten los nodos *Control* y *ScrollContainer*, mientras que el nodo final varía según el tipo de movimiento.

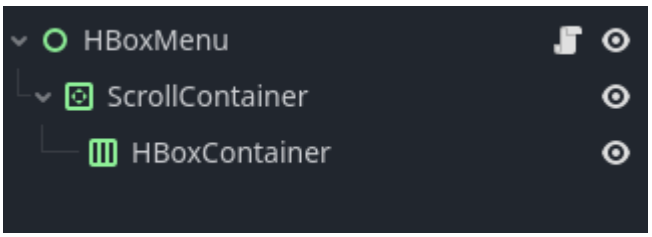


Figura 21. Escena básica para interfaces con desplazamiento horizontal

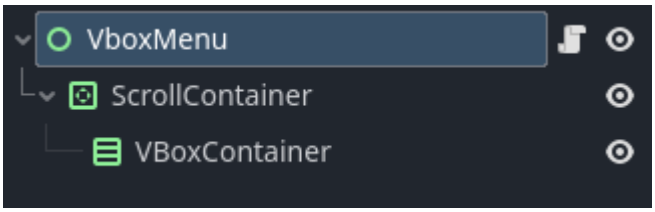


Figura 22. Escena básica para interfaces con desplazamiento vertical

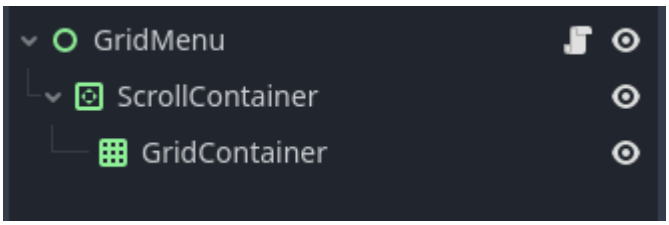


Figura 23. Escena básica para interfaces con desplazamiento por cuadrículas

Adicionalmente, las escenas dinámicas en entornos 2D requieren de un contenedor adecuado para su correcta gestión. Este contenedor es fundamental para permitir la interacción con el jugador, porque evita la creación indiscriminada de instancias. Por esta razón, la Figura 24 presenta una estructura simple, cuyo propósito principal es actuar como gestor de instancias. En este gestor se generan dinámicamente las interfaces necesarias según el desplazamiento del jugador, las cuales se agregan como hijos del nodo *Panel*. A medida que el jugador cambia de opción, las instancias previas se liberan para evitar el consumo innecesario de recursos y garantizar una gestión eficiente de la memoria.



Figura 24. Escena básica contenedora para interfaces 2D

Esta estructura base permite la implementación de herencia. Aunque no sea necesario agregar más nodos en cada caso específico, la herencia se justifica porque los nodos hijos deben conservar las referencias a las escenas de navegación correspondientes. De este modo, el sistema solo mantiene activas las referencias necesarias según el contexto de uso, optimizando así el rendimiento de la aplicación.

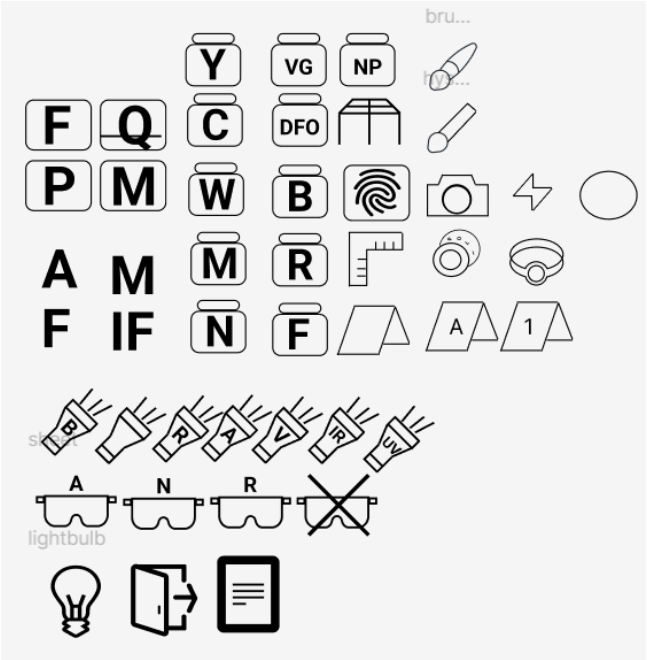


Figura 25. Iconos de las interfaces de usuario

Además, con el objetivo de mejorar el aspecto visual de las interfaces de usuario, se optó por generar y personalizar iconos específicamente para este propósito. En la Figura 25 se presentan los iconos resultantes creados mediante el uso de Figma, los cuales contribuyen a una apariencia más atractiva de las interfaces, facilitando su uso y mejorando la experiencia del usuario (UX).

h. Interfaz de mundo

El sistema contará con una interfaz dinámica para el vestíbulo, el cual actuará como punto central de navegación hacia otros mundos. Para su implementación, se utiliza herencia a partir de escenas base que gestionan el movimiento, adaptándolas según los requerimientos visuales específicos del entorno. Una vez definidas todas las escenas necesarias, se realiza herencia desde una escena contenedora 2D, cuya finalidad es almacenar y gestionar las referencias de navegación entre las diferentes interfaces. El Anexo J recaba todas las escenas construidas, donde la escena principal agrupa los tres grupos que puede visualizar el jugador para seleccionar: Tutorial, Escenas del Crimen y Licencias.

Es importante destacar que, para mostrar esta interfaz dentro del mundo 3D, se requiere que la interfaz 2D sea visible para un entorno tridimensional. Dado que los nodos de tipo *Control* están diseñados exclusivamente para escenas 2D, es necesario construir una escena contenedora 3D que permita integrar estos elementos. Como se muestra en la Figura 26, esto se logra mediante el uso de un *SubViewport*, el cual renderiza la escena 2D y la proyecta sobre un *MeshInstance3D* con una forma plana, permitiendo así su visualización dentro del espacio 3D.

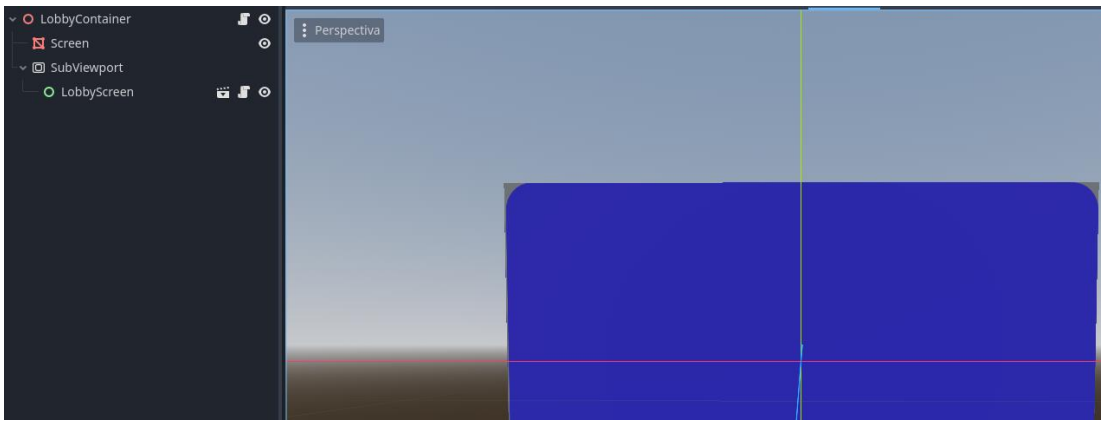


Figura 26. Escena 3D de la interfaz para el vestíbulo

El tutorial del sistema requerirá de interfaces explicativas que permitan al jugador comprender las mecánicas disponibles dentro del entorno virtual. Para su implementación, se emplea el mismo criterio utilizado en la construcción del contenedor 3D, con una diferencia clave: en este caso, todas las interfaces están previamente integradas en la estructura jerárquica de la escena. Esto se debe a que no

se dispone de una estructura base reutilizable, porque las interfaces del tutorial son estáticas y no requieren interacción directa por parte del jugador.

Como se muestra en la Figura 27, todos los nodos de tipo *Control* se encuentran inicialmente ocultos. La visibilidad de cada interfaz se gestiona mediante un parámetro que determina cuál debe mostrarse en cada momento, garantizando así que se cargue la interfaz adecuada según el contexto del tutorial. Esta estructura permite la reutilización de las interfaces en todos los mundos que sean para el tutorial, porque se ha planificado que el tutorial esté compuesto por varios mundos, cada uno diseñado para enseñar una mecánica específica. Bajo este criterio la construcción final de las escenas 2D para los tutoriales pueden verse en el Anexo K.

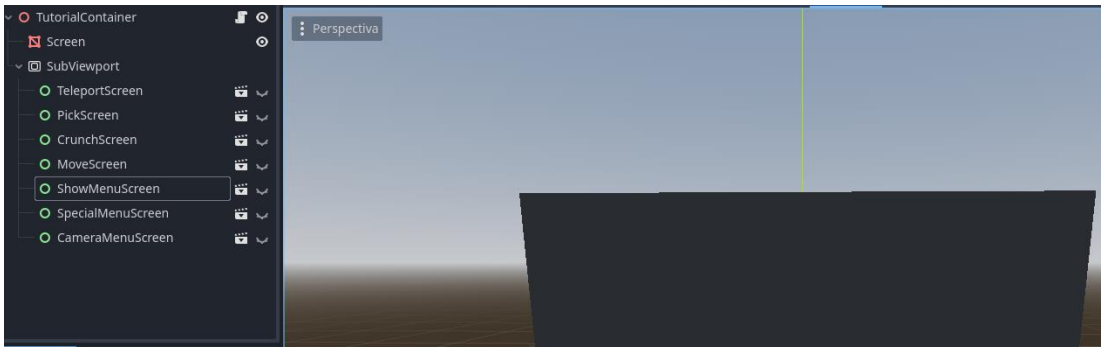


Figura 27. Escena 3D de la interfaz de los tutoriales

i. Interfaz de jugador

El jugador requiere de una interfaz intuitiva que facilite el procesamiento de la escena del crimen. Esta interfaz debe responder de manera coherente a las acciones realizadas por el usuario. Para lograr este propósito se generan las interfaces de interacción y la escena gestora realizando herencia de las escenas base, los cuales pueden visualizarse en el Anexo L. Al contar con todas las escenas 2D se construye una escena 3D para mostrar el contenido, dándole un aspecto más amigable como se observa en la Figura 28.

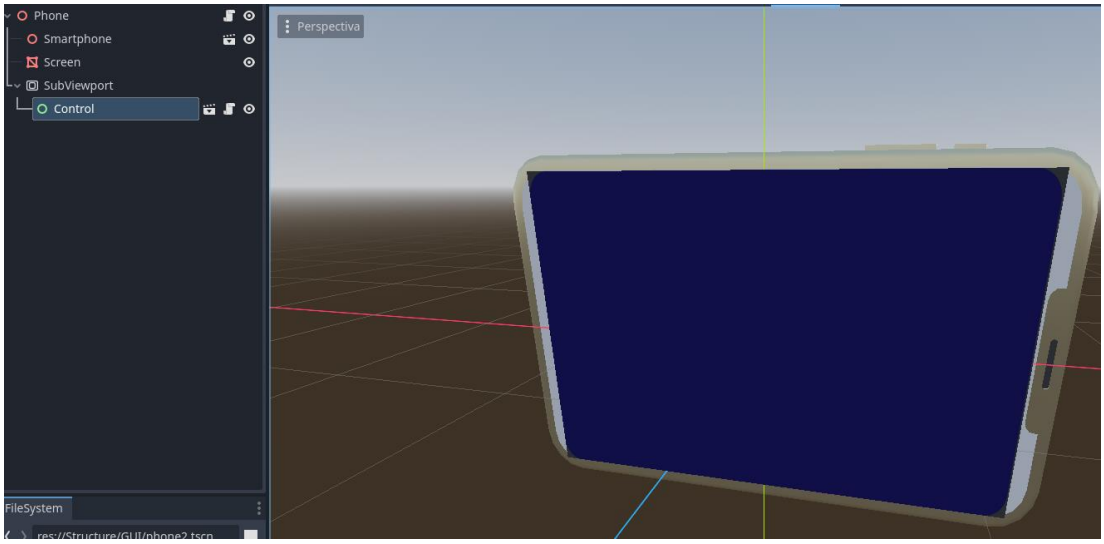


Figura 28. Escena 3D de la interfaz del jugador

Esta interfaz no está disponible de forma permanente para el jugador, porque su aparición depende de la decisión del mismo, quien puede activarla mediante la mecánica específica que le permite abrir el menú. Al activar dicha mecánica, se genera una instancia de la escena correspondiente, la cual queda vinculada exclusivamente al mando con el que fue activada, respondiendo y siguiendo únicamente a dicho control. Además, se garantiza que solo exista una única instancia de la interfaz, sin importar cuántas veces se intente activar la mecánica desde otros mandos.

La interfaz principal que se muestra al generar una nueva instancia varía según tres condiciones definidas, que dependen del estado del objeto presente en la mano activadora:

- Condición 1: Se despliega la interfaz general, que permite al jugador acceder a opciones como la generación de herramientas, la visualización de fotografías tomadas y la salida al vestíbulo. Esta interfaz es importante para las herramientas, porque a partir de la interfaz el jugador puede parametrizar la herramienta que va a generar de acuerdo a lo que necesita. Esta condición se cumple cuando no se tiene ningún objeto en la mano activadora.

- Condición 2: Se muestra una interfaz específica para objetos agarrables de tipo herramienta, la cual presenta únicamente la opción de guardar la herramienta. Esta acción permite eliminar instancias de dichos objetos para evitar que

queden libres en la escena. Esta condición se cumple cuando el jugador sostiene un objeto de tipo herramienta en la mano activadora.

- Condición 3: Se presenta una interfaz destinada a objetos agarrables de tipo decorativo, la cual permite al jugador embalar dichos objetos y enviarlos a zonas especializadas. Esta acción también elimina internamente las instancias correspondientes. Esta condición se cumple cuando el jugador sostiene un objeto de tipo decorativo en la mano activadora.

j. Interfaz de objeto

Dentro de los diversos objetos diseñados para el entorno virtual, se ha desarrollado una herramienta que incorpora una interfaz interactiva destinada al jugador. Esta interfaz es fundamental para el funcionamiento correcto de la herramienta. En particular, la cámara cuenta con dos tipos de interfaz: una estática y una dinámica. La interfaz estática permite al jugador visualizar el entorno a través de la cámara, mientras que la interfaz dinámica ofrece opciones interactivas para seleccionar distintos modos de fotografía, según el tipo de captura requerida. Para implementar la interfaz dinámica se emplea el principio de herencia, aprovechando tanto las escenas base como la escena gestora.

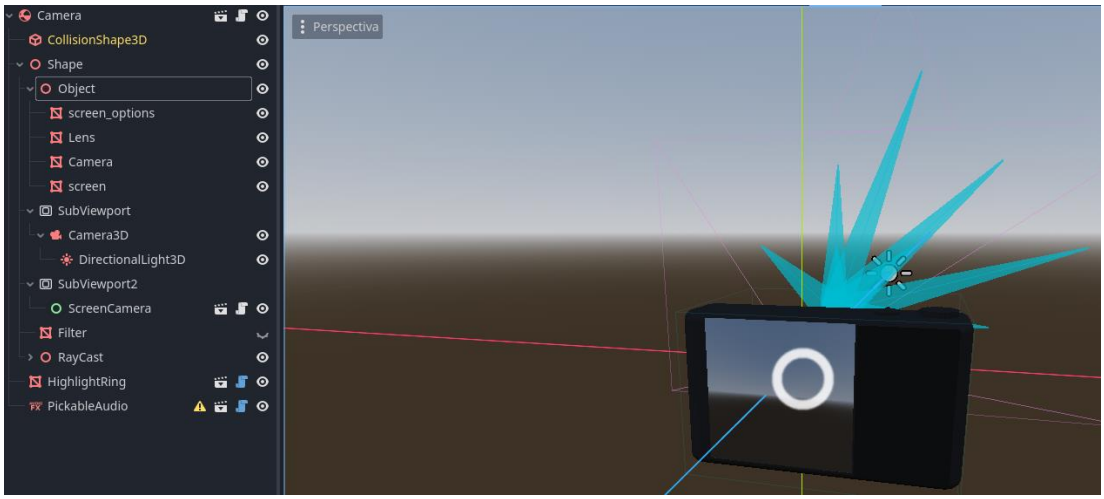


Figura 29. Escena 3D para la interfaz del objeto

En la Figura 29 se muestra el uso de dos *Subviewports*, los cuales están vinculados a dos *MeshInstance*. Esta estructura permite que el objeto disponga de ambas interfaces

de manera simultánea. El primer *Subviewport* está configurado para habilitar el modo 3D, porque por defecto esta opción se encuentra desactivada. Por su parte, el segundo *Subviewport* se encarga de gestionar las instancias correspondientes a la interfaz dinámica.

Las diferentes interfaces dinámicas implementadas se detallan en el Anexo M. Interfaces para el objeto. Para activar la interacción con la interfaz de la cámara, el jugador debe tener el objeto en su mano, lo que convierte automáticamente dicha mano en la mano activadora.

k. Interacción con el jugador

Para la interacción del jugador con las interfaces de usuario, independientemente del tipo de interfaz, se aplica un principio común de funcionamiento. Tal como se muestra en la Figura 30, se detalla el proceso mediante el cual el jugador puede interactuar con dichas interfaces. Es importante señalar que esta interacción no es directa, como podría esperarse en un entorno tradicional.

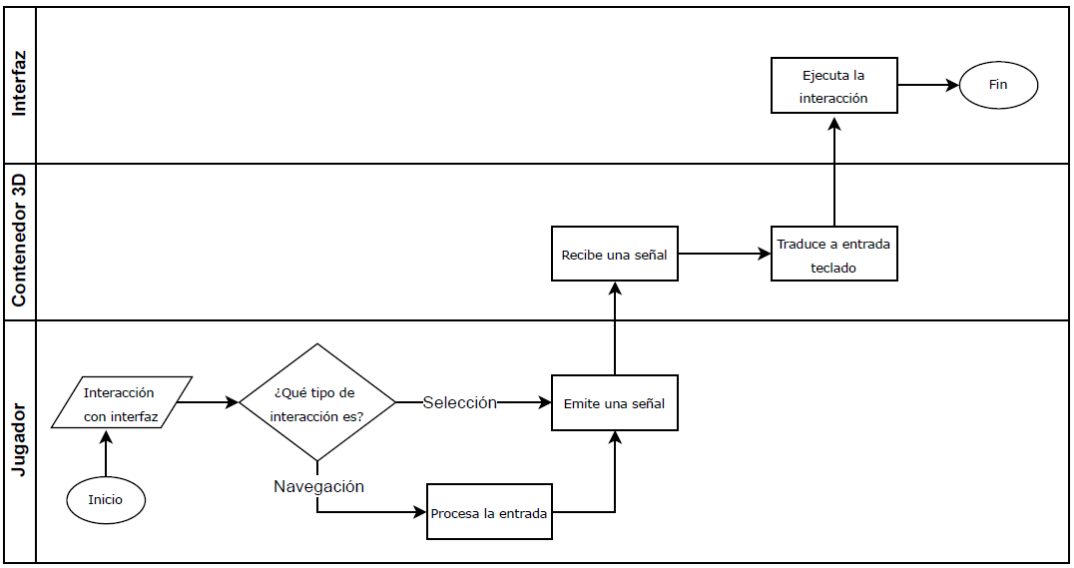


Figura 30. Diagrama de flujo para la interacción con las interfaces de usuario

El jugador puede interactuar mediante dos mecánicas principales: selección en el menú y navegación dentro del menú. La navegación se realiza utilizando el *joystick*, sin embargo, este no identifica de forma nativa los movimientos básicos (arriba, abajo,

izquierda, derecha). Por ello, se implementa un sistema basado en coordenadas que permite detectar el movimiento direccional del *joystick*. Este sistema está parametrizado con límites, de manera que solo se registran movimientos hacia los extremos, evitando una alta sensibilidad que genere acciones no deseadas. En contraste, la mecánica de selección se gestiona de forma más directa, porque la acción genera inmediatamente la señal correspondiente.

Debido a que los dispositivos de realidad virtual no reconocen de forma nativa las entradas necesarias para interfaces 2D, se realiza un proceso adicional que traduce las entradas del mando a eventos de teclado. Para ello, se construye una instancia que emula una entrada de teclado a partir de las señales emitidas por los dispositivos, permitiendo así una interacción adecuada con las interfaces del sistema.

3.3.8 Mundos

Una vez que se cuenta con todos los elementos construidos, es posible proceder a la creación de los mundos que conformarán el entorno virtual inmersivo. Cada mundo constituye una escena independiente, la cual puede incorporar los elementos necesarios en el orden que se requiera. Para la construcción de estos mundos se emplea la librería **Cyclops Level Builder**, que facilita una creación rápida y sencilla de entornos 3D. Además, esta herramienta permite aplicar texturas de manera ágil y eficiente. Las texturas utilizadas han sido obtenidas del repositorio **ambientCG**, el cual ofrece una amplia variedad de texturas tanto para interiores como para exteriores.

Se ha definido la existencia del mundo del vestíbulo, el cual representa la escena principal que se muestra al iniciar el sistema. Desde este punto, el jugador puede acceder a las distintas funcionalidades del entorno virtual. En la Figura 31 se muestra el proceso de construcción de esta escena, el cual se compone principalmente del diseño de la interfaz y la estructura general del mundo.

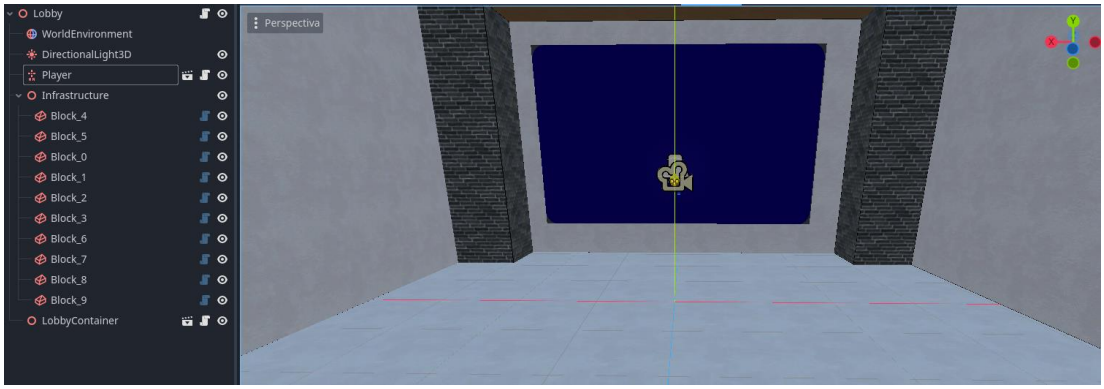


Figura 31. Escena del vestíbulo

También se ha implementado una escena del crimen, en la cual el jugador puede llevar a cabo el procesamiento de evidencias y demás actividades propias de una investigación forense. Esta escena constituye uno de los entornos más importantes del sistema, porque simula una situación realista en la que se deben aplicar los conocimientos adquiridos. La escena puede evidenciarse en la Figura 32 la cual ha sido diseñada como una vivienda, que incluye tanto el interior como el exterior de la casa. Esta área posee limitaciones físicas para asegurar que la interacción del jugador se mantenga dentro del entorno relevante, porque el contexto del crimen se desarrolla exclusivamente en la vivienda. Con el fin de dar mayor realismo a la escena del crimen, se añadieron elementos no interactivos que enriquecen la ambientación. Estos pueden observarse en el Anexo N.



Figura 32. Escena del crimen

Adicionalmente, se han desarrollado un total de siete mundos para el tutorial. Cada uno de estos mundos está diseñado para enseñar una característica específica que el jugador puede realizar dentro del sistema. Cuando el jugador ingresa, se carga automáticamente el primer mundo correspondiente. Se ha establecido un sistema de transición mediante áreas de activación, de modo que, al ingresar en una de ellas, el jugador es trasladado automáticamente al siguiente mundo del tutorial. Este proceso continúa hasta completar los siete mundos, momento en el cual el jugador retorna al vestíbulo. Esta mecánica puede observarse en la Figura 33. Cabe mencionar que el jugador puede salir del tutorial en cualquier momento utilizando la interfaz general del sistema.

Tal como se tenía previsto, el contenedor de la interfaz ha sido parametrizado para cargar dinámicamente la interfaz correspondiente, según el parámetro que se haya establecido. En cuanto a la mecánica de cambio de mundos, se hace uso de un nodo *Area3D*, el cual permite detectar si el jugador ha ingresado a una zona específica del entorno. Cada mundo cuenta con un parámetro identificador que indica a qué mundo debe realizarse la transición. Esta implementación garantiza una estructura escalable y flexible, permitiendo añadir nuevos mundos en el futuro.

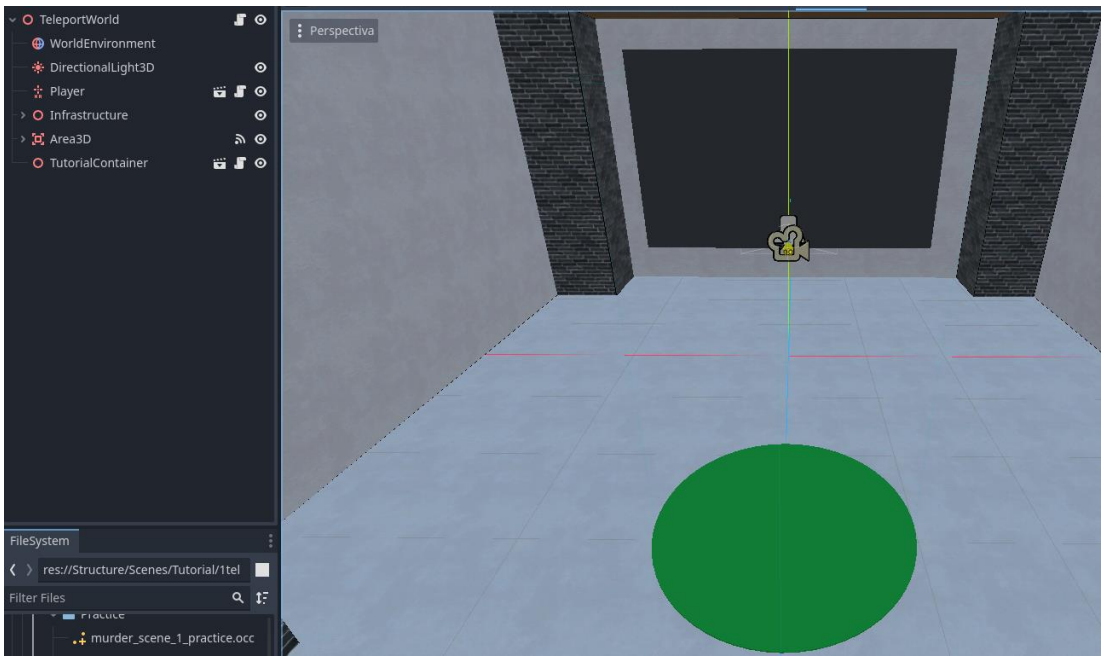


Figura 33. Escena del tutorial de ejemplo

Con el fin de mejorar la experiencia del usuario durante las transiciones entre escenas, se ha creado una escena de carga. Esta escena es especialmente importante al pasar del vestíbulo a la escena del crimen, porque durante esta transición se produce un breve periodo de congelación por la cantidad de elementos que tiene que cargar, lo podría generar insatisfacción en el usuario. Para mitigar este problema, se muestra una pantalla de carga que indica el porcentaje de progreso; una vez que se alcanza el 100 %, se realiza el cambio de escena. Esta funcionalidad se ilustra en la Figura 34.

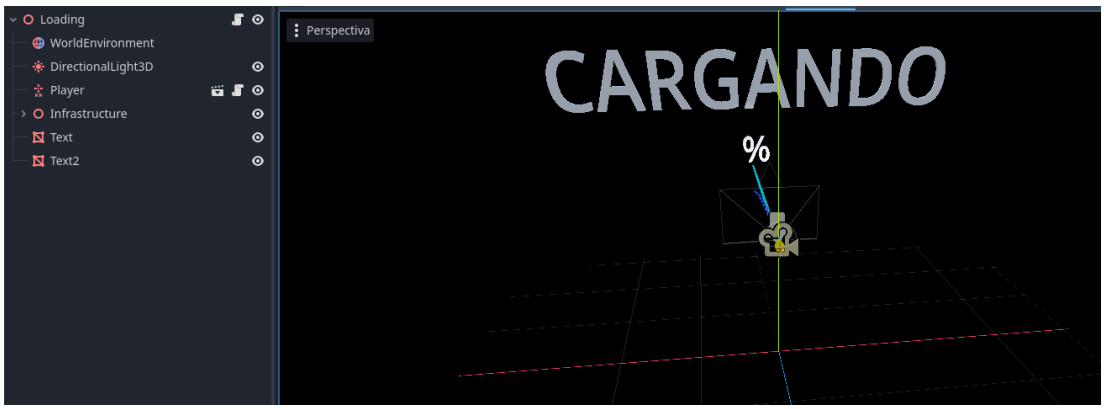


Figura 34. Escena de carga

3.4 Medición del nivel de aceptación del uso de la tecnología inmersiva en la formación de los peritos de criminalística

Mediante el uso del Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) se pretende validar la propuesta. El uso de TAM permitirá evaluar el nivel de aceptación al uso de tecnología inmersiva para el entrenamiento, específicamente en inspección ocular técnica. El modelo evalúa las respuestas mediante una escala Likert de 5 puntos, donde 1 representa “totalmente en desacuerdo” y 5 “totalmente de acuerdo”.

Para validar la propuesta, se evaluará el sistema con 15 expertos en inspección ocular técnica pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito del Laboratorio de Criminalística y Ciencias Forenses. El tamaño de muestra establecido responde a la disponibilidad de los expertos, y la muestra se encuentra alineada con la revisión de literatura realizada por [22], quienes en su estudio sobre aplicaciones prácticas del modelo TAM indican que la cantidad de participantes sugerida se encuentran entre 10 y 30 personas.

Para obtener los datos que permitan validar la propuesta mediante el uso del modelo TAM, se ha determinado el protocolo que se puede visualizar en el Anexo O. El protocolo establecido contempla la aplicación de una encuesta antes y después del uso del sistema, con el fin de identificar cambios en la percepción sobre el uso de tecnología inmersiva. Para ello se ha generado dos cuestionarios , detallado en el Anexo Q y Anexo R, los cuales se aplican conforme a lo establecido en el protocolo. Además, el protocolo determina que los expertos deben realizar el procesamiento de la escena del crimen, como se puede observar en la Figura 35.



Figura 35. Uso del sistema por parte de los peritos especializados

En la Figura 36 se presentan los resultados obtenidos de los cuestionarios TAM.

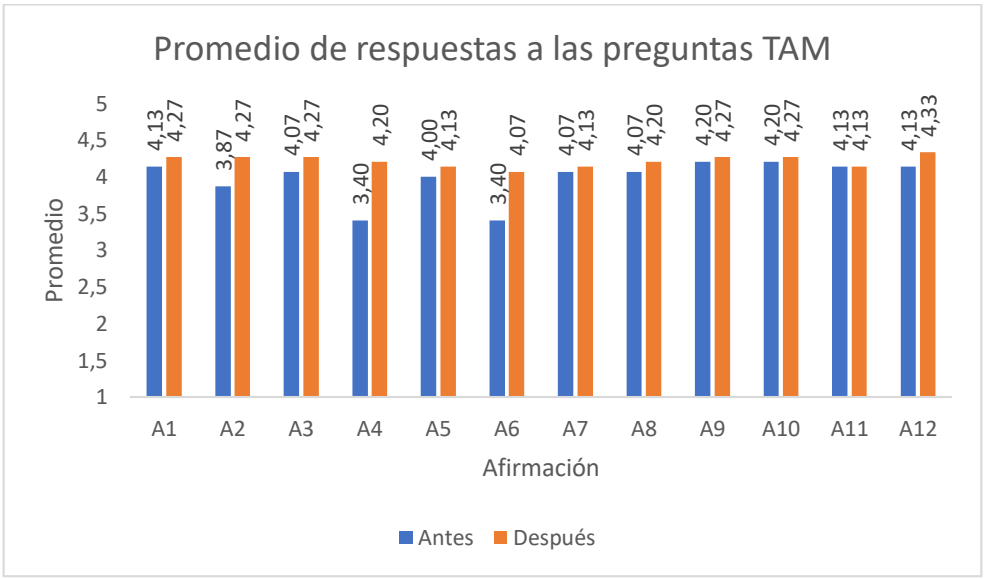


Figura 36. Promedio de las respuestas a las preguntas TAM

Donde:

- En la Afirmación 1 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,25 a 1,03. Los expertos indicaron que el sistema puede contribuir a mejorar la capacidad de entrenamiento en inspección ocular técnica, porque el sistema está descentralizado y solo depende del dispositivo de realidad virtual.

- En la Afirmación 2 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,25 a 1,03. Los expertos indicaron que el uso del sistema para entrenamiento puede ser más efectivo que los métodos tradicionales, porque los entornos virtuales permiten una mayor variabilidad de escenarios y recreación de escenarios de alto riesgo.

- En la Afirmación 3 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,22 a 0,80. Los expertos indicaron que el uso del sistema para entrenamiento puede permitir mejorar la toma de decisiones, porque el entorno virtual permite libertar para que el usuario decida el orden de las acciones y las herramientas a utilizar durante la ejecución de la simulación.

- En la Afirmación 4 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,59 a 0,86. Los expertos indicaron que el uso del sistema para entrenamiento no requiere mucho esfuerzo mental, porque el sistema es intuitivo y cuenta con los elementos necesarios para aprender sobre su uso.

- En la Afirmación 5 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,20 a 0,74. Los expertos señalaron que el uso del sistema para entrenamiento es intuitiva y fácil de manejar, porque el entorno virtual cuenta con estímulos visuales que permitan facilitar la interacción en la simulación.

- En la Afirmación 6 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,40 a 1,10. Los expertos señalaron que para el uso del sistema no se requiere mucha asistencia técnica, porque es un entorno en el cual se aplican conocimientos adquiridos y el único aprendizaje necesario es el relacionado para hacer uso de la tecnología.

- En la Afirmación 7 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,28 a 1,06. Los expertos señalaron que el sistema para entrenamiento sería usable para la formación de peritos de criminalística, porque el entorno virtual recrea un escenario real que permite realizar procesamiento de la escena del crimen con el uso de las herramientas especializadas.

- En la Afirmación 8 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,22 a 1,08. Los expertos señalaron que recomendarían el uso del sistema a colegas y estudiantes de criminalística, porque cuenta con los elementos necesarios que garanticen un entrenamiento óptimo.

- En la Afirmación 9 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,26 a 1,10. Los expertos señalaron que sería importante dedicar tiempo para aprender a hacer uso de la tecnología inmersiva en caso de que sea implementado en la formación, porque esto garantizaría que se haga un adecuado uso del sistema.

- En la Afirmación 10 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,26 a 1,10. Los expertos coinciden que sería una buena idea implementar la tecnología inmersiva para entrenamiento, porque no requiere de un espacio físico debidamente equipado.

- En la Afirmación 11 se observa que la media no tuvo ningún cambio tras el uso del sistema, sin embargo, la desviación estándar tuvo un cambio de 1,36 a 1,19.

Los expertos indican que el uso de la tecnología inmersiva puede genera entusiasmo para sí mismos y para peritos en formación para el área de criminalística, porque se trata de una herramienta innovadora que permite recrear distintos escenarios en un solo lugar.

- En la Pregunta 12 se observa un incremento en la media tras el uso del sistema, acompañado de una disminución en la desviación estándar que pasó de 1,36 a 1,11. De este modo, los expertos coinciden en que el uso de la tecnología inmersiva hará la formación más interesante y motivadora, porque adoptar nuevas tecnologías abre puertas a la innovación e implementación de soluciones concretas.

Además, el modelo TAM inicial propuesto por [23] define dos ejes fundamentales, los cuales son:

- Utilidad percibida (UP): se refiere al grado en que el usuario considera que el uso del sistema mejorará su desempeño en sus tareas.

- Facilidad de uso percibida (FU): se refiere al grado en que el usuario percibe que el sistema es fácil de comprender y utilizar.

Sin embargo, el estudio ampliado por [24] realiza una extensión del modelo TAM y desarrolla dos ejes adicionales, los cuales son:

- Intención de uso (IU): se refiere al grado en que el usuario manifiesta su disposición o voluntad de utilizar el sistema en el futuro.

- Actitud hacia el uso (AU): se refiere al grado de percepción general y emocional del usuario frente al uso de la tecnología.

De este modo, al realizar el análisis por eje se obtiene los resultados revelados en la Figura 37.

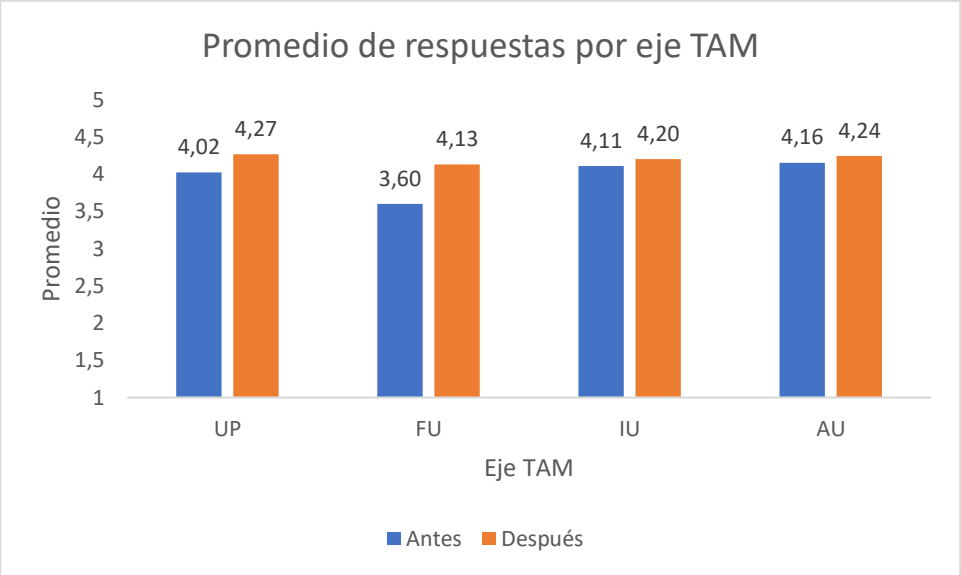


Figura 37. Promedio de las respuestas por eje TAM

Donde:

- La utilidad percibida tuvo un incremento en la media, con una desviación estándar que pasó de 1,19 a 0,94.
- La facilidad de uso percibida tuvo un incremento en la media, con una desviación estándar que pasó de 1,22 a 0,71.
- La intención de uso tuvo un incremento en la media, con una desviación estándar que pasó de 1,21 a 1,05.
- La actitud hacia el uso tuvo un incremento en la media, con una desviación estándar que pasó de 1,32 a 1,12.

Para determinar si el incremento de los ejes es significativo se realiza una prueba *t* de Student para muestras relacionadas. La prueba a realizar es aplicable cuando se cuenta con las respuestas del mismo individuo antes y después de una intervención. Para el cálculo se hace uso de la Ecuación 4, donde se deberá realizar el cálculo por eje del modelo TAM.

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}} \qquad (4)$$

Donde:

- t es el estadístico de prueba calculado que permite determinar si la diferencia promedio observada entre las mediciones es estadísticamente significativa.
- $\overline{d}$ es el promedio de las diferencias entre el después y el antes de la intervención.
- s_d es la desviación estándar de las diferencias individuales de la intervención.
- n es la cantidad de participantes.

De este modo, al realizar los cálculos se obtiene los resultados presentados en la Tabla 18. Además, se calculó el valor de *p* utilizando la función estadística de Excel (PRUEBA.T.N), la cual permite obtener la probabilidad asociada a una prueba t bilateral sin necesidad de realizar cálculos manuales que pueden ser propensos a errores. Según los criterios comúnmente utilizados se determina que si *p* es mayor que 0,05 entonces el resultado no es estadísticamente significativo. Por lo tanto, los incrementos observados por eje no son significativos. El resultado obtenido se debe principalmente porque los participantes tenían expectativas altas respecto al uso de la tecnología inmersiva antes de la intervención, lo que limitó el margen para un aumento significativo en la aceptación. Además, los resultados evidencian que persiste el interés por el uso de la tecnología para entrenamiento, facilitando su implementación en el área.

Tabla 18. Resultados *t* de Student para muestras relacionadas por ejes TAM

Eje	$\overline{d}$	s_d	n	t	p
UP	0,24	1,27	15	0.73	0.47
FU	0,53	1,47		1.40	0.18
IU	0,09	1,32		0.26	0.80
AU	0,09	1,55		0.23	0.83

Para un análisis complementario se calcula el promedio de los ejes antes y después del uso del sistema, donde se obtiene un promedio de aceptación que pasó de 3,97 a 4,21

con una desviación estándar de 0,28 a 0,07. Estos resultados sugieren que la tendencia hacia el uso y adopción de tecnologías inmersivas para el entrenamiento es favorable.

Los resultados obtenidos anteriormente permitieron conocer el nivel de aceptación al uso de tecnología inmersiva para entrenamiento. Sin embargo, es importante conocer la usabilidad de la propuesta realizada. Para conocer la usabilidad de la solución presentada se ha optado por medir dos variables:

- Tiempo de ejecución de un conjunto de tareas: Esta métrica permite conocer la eficiencia del sistema, reflejándose en los resultados la facilidad de uso del sistema y la comprensión por parte de los usuarios para interactuar con la solución.

- Escala de Usabilidad del Sistema (SUS): El modelo propuesto por [25] evalúa la usabilidad a través de un cuestionario con un conjunto de afirmaciones estandarizadas las cuales permiten una evaluación subjetiva del sistema. El modelo hace uso de la escala Likert de 5 puntos y proporciona una puntuación global sobre 100, facilitando la interpretación de los resultados.

Para validar la usabilidad del sistema, se evaluará la solución con 5 expertos en informática pertenecientes a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. El tamaño de la muestra establecido se basa en el estudio de [26], donde establece que con 5 usuarios es suficiente para identificar el 85% de problemas de usabilidad.

Para recolectar los resultados que permitan verificar la usabilidad del sistema, se ha determinado hacer uso del protocolo establecido en el Anexo S. En el protocolo se ha contemplado que los expertos deben hacer uso del sistema un total de 5 veces, en los cuales deberán completar un conjunto de tareas. En cada intento se registrará el tiempo empleado. Una vez finalizadas las cinco repeticiones, deberán responder a la encuesta detallada en el Anexo T. El proceso de ejecución del protocolo se puede observar en la Figura 38.

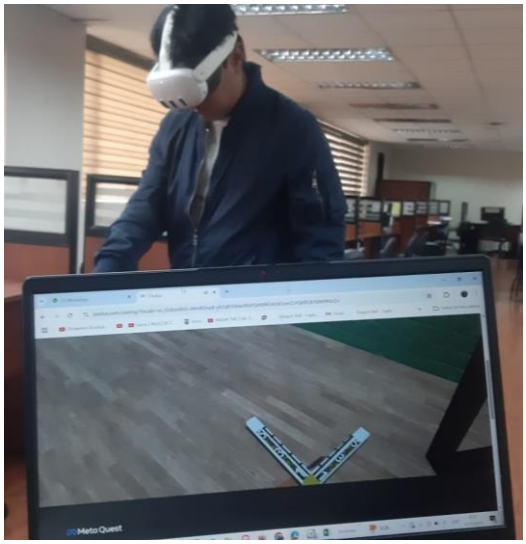


Figura 38. Uso del sistema por parte de expertos en informática

En la Figura 39 se observa la evolución de los tiempos de ejecución del conjunto de tareas por parte de los participantes. Se puede apreciar una disminución del tiempo de ejecución del conjunto de tareas a medida que se realizaba un nuevo intento. Este comportamiento se debe principalmente a que, conforme los usuarios se familiarizaban con el sistema, ejecutaban las tareas de manera más fluida. Además, factores como la familiarización con la tecnología y la edad influyeron significativamente en la variación del tiempo de ejecución de las tareas.

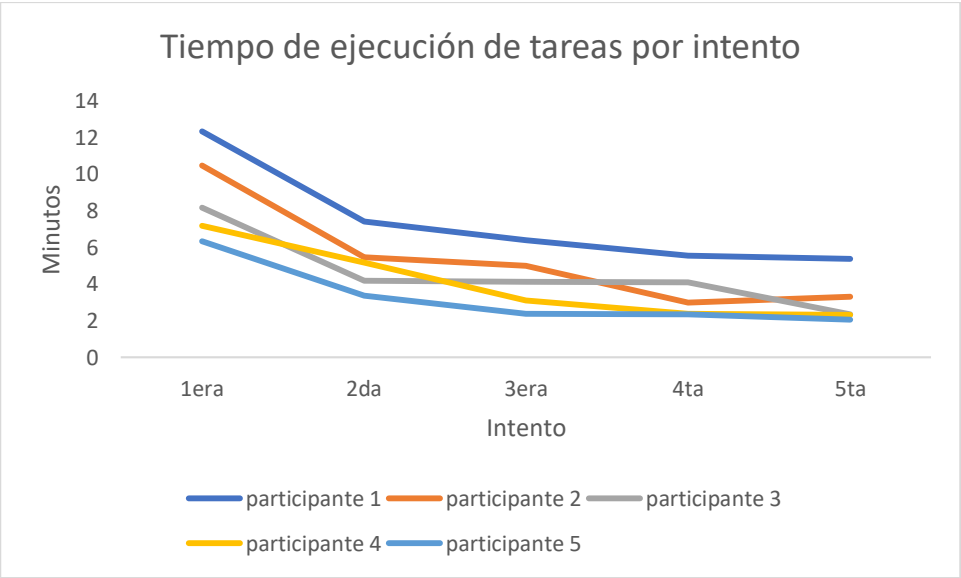


Figura 39. Tiempos de ejecución del conjunto de tareas

Al realizar el promedio de los tiempos de ejecución se puede evidenciar una disminución significativa en el tiempo de ejecución entre la primera y la segunda ejecución del conjunto de tareas, donde el tiempo promedio pasó de 8,54 minutos a 5,13 minutos, representando un decremento considerable. Mientras que, entre el segundo y el quinto intento, el tiempo promedio disminuyó de 5,13 minutos a 3,08 minutos, lo que indica una reducción progresiva.

En la Figura 40 se puede observar los promedios de respuesta al cuestionario SUS, donde las afirmaciones impares tienden a recibir valoraciones más positivas, mientras que las afirmaciones pares presentan respuestas más negativas. Esto se debe porque el cuestionario SUS está intencionalmente diseñado para que las afirmaciones impares evalúen aspectos positivos del sistema, mientras que las pares abordan posibles debilidades o dificultades percibidas. Las afirmaciones se encuentran en el Anexo T.

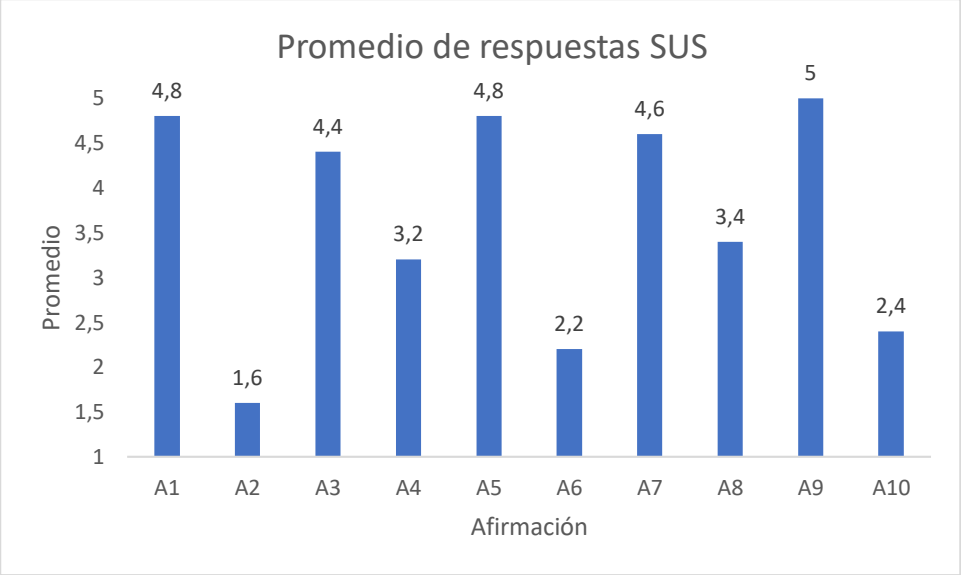


Figura 40. Promedio de las respuestas a la encuesta SUS

Donde:

- La Afirmación 1 tiene una media de 4,8 con una desviación estándar de 0,45. Los expertos señalaron que les gustó el sistema porque el entorno virtual contaba con elementos que enriquecían la experiencia, permitiendo simular la realidad.

- La Afirmación 2 tiene una media de 1,6 con una desviación estándar de 0,89. Los expertos coinciden en que el sistema no era innecesariamente complejo, indicando una buena integración de los elementos que componía el entorno virtual, así como las funcionalidades y las herramientas.

- La Afirmación 3 tiene una media de 4,4 con una desviación estándar de 0,89. De este modo, los expertos mencionaron que el sistema era fácil de usar gracias a la adecuada disposición de los botones, así como la retroalimentación que se obtiene al realizar el tutorial.

- La Afirmación 4 tiene una media de 3,2 con una desviación estándar de 1,48. En este sentido, se obtuvo una notable variabilidad de respuestas por parte de los expertos. La causa principal de los resultados obtenidos se debe principalmente porque el sistema está dirigido para entrenamiento de peritos, por ende, expertos de otras áreas requerirían el apoyo de un técnico para entender el uso de las herramientas especializadas.

- La Afirmación 5 tiene una media de 4,8 con una desviación estándar de 0,48. Así, los expertos indicaron que las funciones del sistema estaban bien integradas, valorando de forma positiva el funcionamiento e interacción de las herramientas especializadas en el entorno virtual.

- La Afirmación 6 tiene una media de 2,2 con una desviación estándar de 1,64. De este modo, los expertos tuvieron una notable variabilidad de respuestas en la afirmación. La explicación a esto se debe principalmente a la complejidad del sistema, al cual los expertos esperaban encontrar mayores inconsistencias.

- La Afirmación 7 tiene una media de 4,6 con una desviación estándar de 0,55. En este sentido, los expertos concuerdan que el sistema podrá ser usado rápidamente por otras personas. La explicación a esto se debe principalmente porque el simulador recrea los elementos de un entorno real, por ende, lo que deben aprender los nuevos usuarios es la disposición de botones y acciones que puede ejecutar en el sistema.

- La Afirmación 8 tiene una media de 3,4 con una desviación estándar de 1,82. Los resultados obtenidos reflejan la incomodidad al utilizar la tecnología, lo cual se debe principalmente porque no es de uso común, generando así una sensación de incomodidad en los usuarios.

- La Afirmación 9 tiene una media de 5 con una desviación estándar de 0. Los expertos sintieron seguridad al hacer uso del sistema. Para garantizar la protección del participante, era esencial contar con un espacio adecuado que le permitiese desenvolverse en el entorno virtual.

- La Afirmación 10 tiene una media de 2,4 con una desviación estándar de 0,89. Los expertos requirieron aprender las funcionalidades básicas del sistema. Esto se debe principalmente porque para poder usar el entorno virtual era necesario que los expertos pudieran familiarizarse con las funcionalidades del sistema.

Los promedios obtenidos son el resultado de haber considerado, durante el desarrollo, diversos aspectos orientados a facilitar la experiencia del usuario. Entre ellos se destacan la inclusión de un tutorial introductorio, la adecuada distribución de botones y acciones, así como la posibilidad de utilizar la mano dominante con libertad. Estos factores contribuyeron significativamente a los resultados positivos observados.

Sin embargo, para conocer la usabilidad real a través de SUS es necesario hacer uso de la Ecuación 5.

$$\boldsymbol{SUS} = \left[\sum_{\boldsymbol{impares}} (\boldsymbol{R_i} - \mathbf{1}) + \sum_{\boldsymbol{pares}} (\mathbf{5} - \boldsymbol{R_i}) \right] * \mathbf{2.5} \tag{5}$$

Donde:

- SUS es la escala de usabilidad individual.

- R_i es la respuesta a la pregunta.

Una vez que se cuenten con los resultados SUS individuales se puede aplicar la Ecuación 6.

$$\boldsymbol{SUS_{global} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} SUS_i} \quad (6)$$

Donde:

- SUS_{global} es el puntaje SUS total.
- SUS_i es el puntaje SUS individual de cada participante.
- n es el número de participantes.

Al hacer el cálculo correspondiente se obtiene un puntaje de 77. Según el estudio realizado por [27] , dicho resultado puede interpretarse de acuerdo con la clasificación presentada en la Tabla 19. En función de ello, el puntaje obtenido se ubica en la categoría buena, lo que indica un nivel de usabilidad aceptable del sistema evaluado.

Tabla 19. Escala SUS

Escala SUS	**Puntaje SUS**	**Interpretación**
Aceptable	91-100	Mejor imaginable
	81-90	Excelente
	71-80	Buena
Marginal	51-70	De acuerdo
Inaceptable	27-50	Pobre
	0-26	Nada imaginable

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Para la investigación realizada, la examinación de herramientas de entornos virtuales inmersivos permitió conformar un conjunto de tecnologías que se ajustan a las necesidades actuales para el desarrollo del software de entrenamiento en inspección ocular técnica. A través del proceso de análisis, se logró identificar las herramientas más apropiadas en función de las características definidas para el entorno virtual inmersivo. El set seleccionado incluyó un motor de videojuegos, una herramienta de modelado 3D y una herramienta de diseño 2D. El motor de videojuegos elegido fue Godot, por su capacidad de integrar los diversos elementos del entorno y facilitar la interacción del usuario, constituyéndose como el eje central del desarrollo. Para la creación de modelos tridimensionales, se seleccionó Blender, una herramienta robusta y versátil que permite diseñar contenido 3D de alta calidad. Finalmente, Figma fue definida como la herramienta de diseño 2D más adecuada, dado que permite generar íconos e interfaces necesarias para enriquecer la experiencia del usuario dentro del entorno inmersivo.

- El desarrollo del software destinado al entrenamiento de peritos en criminalística, específicamente en inspección ocular técnica, se llevó a cabo mediante un enfoque ágil, basado en iteraciones que permitieron obtener resultados progresivos y funcionales. Durante el proceso, se optimizó significativamente la carga de trabajo en diseño tridimensional mediante el uso de modelos 3D provenientes de bibliotecas especializadas, lo cual aceleró la producción de escenarios realistas. Asimismo, se aprovechó al máximo la estructura jerárquica de nodos que ofrece Godot Engine, facilitando el desarrollo modular mediante escenas heredables. Esta funcionalidad no solo permitió generar elementos derivados a partir de escenas padre previamente definidas, sino también personalizarlas sin comprometer su funcionalidad base. Esta estrategia no solo mejoró la eficiencia del desarrollo, sino que también

garantizó la escalabilidad y mantenibilidad del sistema, haciendo posible que el software evolucione con nuevas funcionalidades en el futuro.

- La medición del nivel de aceptación al uso de tecnología inmersiva en la formación de los peritos de criminalística se realizó aplicando el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM). Este modelo evalúa cuatro ejes fundamentales: utilidad percibida, facilidad de uso percibida, intención de uso y actitud hacia el uso. Con la finalidad de analizar los cambios en la percepción de los usuarios, se aplicaron encuestas antes y después del uso del sistema desarrollado. Esta metodología permitió identificar variaciones en la aceptación de la tecnología con incrementos en la media de todos los ejes. Al verificar con una prueba *t* de Student se evidencio que $p > 0,05$, por ende, el incremento identificado no es significativo en ninguno de los ejes.

4.2 Recomendaciones

- Para el desarrollo de entornos virtuales inmersivos utilizando Godot Engine, es fundamental realizar una planificación previa de los elementos y componentes que formarán parte del sistema. Esta planificación favorece la escalabilidad y mantenibilidad del proyecto a futuro. Dado que Godot utiliza una arquitectura basada en nodos y escenas, se recomienda identificar con claridad los objetos, comportamientos y relaciones jerárquicas antes de comenzar el desarrollo. Además, es aconsejable aprovechar el sistema de herencia de escenas, que permite definir estructuras base reutilizables para la creación de nuevas escenas que compartan características comunes, pero que puedan ser personalizadas fácilmente. Esta práctica contribuye a un diseño modular, facilita la integración de nuevas funcionalidades y mejora la organización del código.

- Se recomienda aplicar técnicas de optimización en entornos virtuales inmersivos cargados de varios elementos que afecten la fluidez, especialmente en el uso de dispositivos Meta Quest, que tienen recursos limitados. Aunque en las herramientas de desarrollo no siempre se identifiquen problemas de rendimiento, estos serán evidentes en el dispositivo final, por lo que es crucial

anticipar y corregir posibles caídas de rendimiento para garantizar una experiencia inmersiva fluida.

- Se recomienda que, al trabajar con poblaciones no familiarizadas con tecnología inmersiva, se incluya una fase de acercamiento previo antes de realizar pruebas o evaluaciones formales. Este acercamiento puede consistir en sesiones breves de exploración mediante experiencias desarrolladas por terceros o con el mismo entorno inmersivo que se pretende evaluar. Es recomendable llevar a cabo múltiples sesiones de familiarización antes de utilizar el sistema con fines investigativos o de recolección de datos. Esto se justifica en que la falta de experiencia con este tipo de tecnología puede generar respuestas sesgadas en una primera sesión, influenciadas por la novedad, la sorpresa o incluso el rechazo ante el cambio. Un proceso de adaptación gradual ayuda a reducir estos efectos y permite obtener resultados más representativos y confiables sobre la aceptación y el uso real del entorno inmersivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] O. Akinwale, O. Abiona, A. Oluwatope, O. Otuyemi, O. Ijarotimi, A. Komolafe, S. Aregbesola, B. Kolawole, O. Adetutu, O. Agunbiade, A. Ayinde, L. Idowu, O. Okunola y A. Adediwura, «Designing a virtual reality system for clinical education and examination,» *Computers & Education: X Reality,* vol. 5, nº 1, p. 100083, 2024.

[2] S. Arias, D. Nilsson y J. Wahlqvist, «A virtual reality study of behavioral sequences in residential fires,» *Fire Safety Journal,* vol. 120, nº 1, p. 103067, 2021.

[3] W. Aguilar, L. Pari, Y. Silva, E. Espinoza, L. Canaza y R. Peña, «Implementation of a Robotic arm Control for EOD Applications using an Immersive Multimodal Interface,» *IEEE Access,* vol. 12, pp. 133632-133647, 2024.

[4] T. Sieberth y D. Seckiner, «Identification parade in immersive virtual reality - A technical setup,» *Forensic Science International,* vol. 348, p. 111602, 2023.

[5] I. Martin y R. Irani, «The examination of operator performance when controlling a shipboard crane anti-sway control system within a virtual-reality simulator,» *Ocean Engineering,* vol. 298, p. 117164, 2024.

[6] D. Lu, H. Li, B. Qiu, S. Liu y S. Qi, «Chemical simulation teaching system based on virtual reality and gesture interaction,» *Virtual Reality & Intelligent Hardware,* vol. 6, nº 2, pp. 148-168, 2024.

[7] R. Lovreglio, D.-C. Ngassa, A. Rahouti, D. Paes, Z. Feng y A. Shipman, «Prototyping and testing a virtual reality counterterrorism serious game for active shooting,» *International Journal of Disaster Risk Reduction,* vol. 82, p. 103283, 2022.

[8] R. Bhaumik, T. Kumar y U. Sait, «An Intelligent Virtual Environment for Designers with Reduced Motor Abilities,» *Procedia Computer Science,* vol. 218, pp. 488-503, 2023.

[9] Y. Bao, J. Guo, D. Weng, Y. Liu y Z. Tian, «Effects of virtual agents on interaction efficiency and environmental immersion in MR environments,» *Virtual Reality & Intelligent Hardware,* vol. 6, nº 2, pp. 169-179, 2024.

[10] L. Meuleners, M. Fraser y P. Roberts, «Improving cycling safety through infrastructure design: A bicycle simulator study,» *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives,* vol. 18, p. 100768, 2023.

[11] A. Mukhopadhyay, R. Reddy, K. Saluja, S. Ghosh, A. Peña-Rios, G. Gopal y P. Biswas, «Virtual-reality-based digital twin of office spaces with social distance measurement feature,» *Virtual Reality & Intelligent Hardware,* vol. 4, nº 1, pp. 55-75, 2022.

[12] X. SUN, H. LIU, Y. TIAN, G. WU y Y. GAO, «Team effectiveness evaluation and virtual reality scenario mapping model for helicopter emergency rescue,» *Chinese Journal of Aeronautics,* vol. 33, nº 12, pp. 3306-3317, 2020.

[13] Y. Feng, D. Duives y S. Hoogendoorn, «Using virtual reality to study pedestrian exit choice behaviour during evacuations,» *Safety Science,* vol. 137, p. 105158, 2021.

[14] K. Biercewicz, A. Borawska, M. Borawski y J. Duda, «VR educational game in public awareness campaign preventing the spread of COVID-19 – a pilot study,» *Procedia Computer Science,* vol. 225, pp. 2057-2066, 2023.

[15] H. WU, H. YU, F. YE, J. SUN, Y. GAO, K. TAN y A. HAO, «Interactive hepatic parenchymal transection simulation with haptic feedback,» *Virtual Reality & Intelligent Hardware,* vol. 3, nº 5, pp. 383-396, 2021.

[16] R. Hussain, S. Zaidi, A. Pedro, H. Lee y C. Park, «Exploring construction workers' attention and awareness in diverse virtual hazard scenarios to prevent struck-by accidents,» *Safety Science,* vol. 175, p. 106526, 2024.

[17] M. Rehman, A. Petrillo, A. Forcina y F. De Felice, «Metaverse Simulator for Emotional Understanding,» *Procedia Computer Science,* vol. 232, pp. 3216-3228, 2024.

[18] L. Zhu, Q. Cao y Y. Cai, «Development of augmented reality serious games with a vibrotactile feedback jacket,» *Virtual Reality & Intelligent Hardware,* vol. 2, nº 5, pp. 454-470, 2020.

[19] Y. Zhao, X. An y N. Sun, «Virtual simulation experiment of the design and manufacture of a beer bottle-defect detection system,» *Virtual Reality & Intelligent Hardware,* vol. 2, nº 4, pp. 354-367, 2020.

[20] K. Greenway, C. Frisone, A. Placidi, S. Kumar, W. Guest, S. Winter, K. Shah y C. Henshall, «Using immersive technology and architectural design to assist head and neck cancer patients' recovery from treatment: A focus group and technology acceptance study,» *European Journal of Oncology Nursing,* vol. 62, p. 102261, 2023.

[21] F. Wang, X. Xu, S. Li, W. Feng y M. Almasri, «Learning cleanroom microfabrication operations in virtual reality – An immersive and guided learning experience,» *Computers & Education: X Reality,* vol. 5, p. 100073, 2024.

[22] N. &. G. A. Marangunić, «Technology acceptance model: A literature review from 1986 to 2013,» *Universal Access in the Information Society,* vol. 14, nº 1, p. 81–95, 2015.

[23] F. D. Davis, «Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology,» *MIS Quarterly,* vol. 13, nº 3, p. 319–340, 1989.

[24] V. Venkatesh y F. D. Davis, «A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies,» *Management Science,* vol. 46, nº 2, p. 186–204, 2000.

[25] J. Brooke, Usability Evaluation in Industry, Londres: Taylor & Francis, 1996.

[26] J. Nielsen, Usability Engineering, San Diego, CA: Academic Press, 1994.

[27] A. Bangor, P. Kortum y J. Miller, «Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale,» *Journal of Usability Studies,* vol. 4, nº 3, p. 114–123, 2009.

ANEXOS

Anexo A. Estructura de la entrevista al subdirector de la DINITEC

Buenos días/tardes,

Mi nombre es Sebastián Ilbay y el motivo de esta reunión es profundizar en algunos aspectos clave que contribuirán al desarrollo de la investigación que estoy llevando a cabo. Su colaboración es fundamental para comprender mejor la problemática que se pretende abordar, por lo que le agradeceré mucho si pudiera responder a las preguntas que he preparado para esta ocasión. De antemano, agradezco su tiempo y disposición.

Preguntas sobre el Entrenamiento en IOT:

1. ¿Qué perfiles o profesionales reciben entrenamiento en inspección ocular técnica (IOT)?

2. ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta el área de criminalística en el contexto actual, especialmente en lo relacionado con el procedimiento de IOT?

3. ¿Qué factores específicos considera que afectan el desempeño de los peritos de criminalística durante el procedimiento de IOT?

4. ¿Qué recursos (humanos, tecnológicos, económicos) considera que son actualmente insuficientes o inadecuados para garantizar un entrenamiento efectivo en IOT?

5. ¿Qué consecuencias tiene esta problemática en la consecución de los objetivos institucionales y en la calidad de las investigaciones realizadas?

6. Desde su perspectiva, ¿cómo impacta esta situación a otras áreas de la institución, ya sea en términos de colaboración o resultados?

7. ¿Qué medidas o estrategias se han implementado para superar estos desafíos? ¿Han dado los resultados esperados?

8. ¿Cómo visualiza el escenario ideal para el entrenamiento y desempeño de los peritos en IOT?

9. ¿Hay algún otro aspecto que considere relevante abordar para mejorar el entrenamiento en IOT?

Preguntas sobre la Implementación de Entornos Virtuales Inmersivos:

1. ¿Qué impacto cree que tendría la implementación de entornos virtuales inmersivos en la calidad y efectividad del entrenamiento en IOT, comparado con los métodos tradicionales?

2. ¿Considera factible la implementación de entornos virtuales inmersivos para el entrenamiento en IOT a nivel nacional?

3. ¿Qué tan preparados están los peritos y el personal en general para adaptarse al uso de tecnología de realidad virtual en su proceso de formación?

4. ¿Se cuenta actualmente con apoyo institucional o políticas que favorezcan la adopción de tecnologías innovadoras en el entrenamiento de los peritos de criminalística?

Anexo B. Estructura de la entrevista al especialista en IOT

Buenos días/tardes,

Mi nombre es Sebastián Ilbay, y el motivo de esta reunión es profundizar en aspectos clave que contribuirán al desarrollo de la investigación que estoy llevando a cabo. Su colaboración es fundamental para comprender mejor el procedimiento en IOT, por lo que le agradeceré mucho si pudiera responder a las preguntas que he preparado para esta ocasión. De antemano, agradezco mucho su tiempo y disposición.

Preguntas sobre el Procedimiento en IOT:

1. ¿Qué procedimiento se maneja en el Ecuador para el manejo de evidencia en la escena del crimen?

2. ¿Qué herramientas utilizan para el procedimiento en IOT?

3. ¿Todas las herramientas se usan en cada escena del crimen, o depende de algunos factores específicos?

4. ¿Cómo funcionan y se utilizan cada una de las herramientas que manejan durante el procedimiento de IOT?

5. ¿Cuáles son los roles y responsabilidades de las personas que participan en el proceso de IOT? ¿Hay algún tipo de coordinación o colaboración interinstitucional?

6. ¿Existen retos o limitaciones en cuanto a los recursos humanos, tecnológicos o logísticos en la implementación del procedimiento de IOT?

7. ¿Qué procesos adicionales se deben realizar después del procedimiento IOT?

8. ¿Cuál es el nivel de capacitación necesario para los peritos que ejecutan el procedimiento IOT?

Anexo C. Encuesta sobre la incorporación de tecnología inmersiva en procesos de entrenamiento

Descripción

El objetivo del presente cuestionario es recopilar información importante que permitirá el desarrollo de un proyecto para su beneficio. Tus respuestas nos ayudarán a entender mejor las percepciones sobre el impacto de la tecnología en el aprendizaje y el trabajo.

Explicación de la realidad virtual

La realidad virtual es una tecnología avanzada que posibilita la simulación de situaciones complejas, riesgosas o difíciles de replicar en la realidad, sumergiendo a los usuarios en un entorno digital controlado, seguro y accesible, sin necesidad de contar con espacios físicos especializados. Esta herramienta permite la creación de escenarios altamente realistas y representativos, lo que facilita el logro de objetivos específicos en áreas como el aprendizaje, el entrenamiento y el análisis, de forma eficiente y efectiva.

Preguntas

- ¿A qué unidad pertenece actualmente? (Pregunta de selección)
- ¿Qué tan cómodo(a) se siente para responder este cuestionario? (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente incómodo(a) | 5 - Totalmente cómodo(a))
- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? "Me gusta la tecnología y disfruto aprender y usar herramientas tecnológicas." (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)
- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? "La tecnología es una herramienta que facilita y potencia el aprendizaje." (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)
- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? “Estoy familiarizado con el concepto de realidad virtual” (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? “Tengo claro como la realidad virtual puede aplicarse para resolver problemas reales” (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? “La realidad virtual me parece una tecnología innovadora y útil.” (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? “La realidad virtual puede simular situaciones que serían difíciles o costosas de recrear en la vida real.” (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Qué tan de acuerdo estarías en usar un producto basado en realidad virtual que te permita entrenar con frecuencia, resolviendo la limitación de no poder hacerlo en un aula de entrenamiento tradicional? (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? "Estaría dispuesto a utilizar el producto de realidad virtual si es fácil de usar." (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? "Estaría dispuesto a utilizar el producto de realidad virtual si es cómodo de usar." (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? "Estaría dispuesto a dedicar tiempo y esfuerzo para aprender a usar un producto de realidad virtual si mejora mi desempeño." (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? "La realidad virtual me parece una herramienta útil para mejorar mis habilidades en situaciones prácticas." (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? "Creo que la realidad virtual sería más eficiente que las soluciones tradicionales para simular entrenamientos o situaciones prácticas." (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? "La realidad virtual podría mejorar significativamente la calidad del entrenamiento y la simulación de escenarios." (Escala de Likert de 5 puntos: 1 - Totalmente en desacuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo)

- ¿Cómo calificarías tu experiencia al responder este cuestionario? (Escala de Likert de 5 puntos: 1 – Muy mala | 5 – Muy buena)

Anexo D. Documentación de los requerimientos del sistema

El presente documento presenta la información detallada sobre los requerimientos del sistema, basado en el estándar IEEE 830. Esta documentación proporciona una base clara y precisa para el desarrollo del sistema que se utilizará en la formación de los peritos de criminalística de la DINITEC y otros grupos relacionados.

1. Introducción

El presente documento especifica los requisitos necesarios para el desarrollo del sistema, detallando tanto los aspectos funcionales como no funcionales que el sistema debe cumplir. Se define también el propósito, el ámbito de aplicación, y las expectativas relacionadas al producto final.

1.1.Propósito

Este documento tiene como objetivo proporcionar una guía clara y detallada que defina los aspectos fundamentales que debe incluir el sistema, garantizando que cumpla con los requisitos y expectativas de los beneficiarios.

1.2.Ámbito del sistema

El sistema tiene como objetivo generar un entorno virtual inmersivo para el entrenamiento en IOT (inspección ocular técnica) para los peritos de criminalística de la DINITEC y otros grupos, como cadetes de la Escuela Superior de la Policía Nacional y estudiantes del ISUPOL. Se prevé que este sistema sea implementado a nivel nacional.

1.3.Definiciones, acrónimos, abreviaturas

- IOT: Inspección Ocular Técnica
- RV: Realidad Virtual
- DINITEC: Dirección Nacional de Investigación Técnico Científica Policial
- ISUPOL: Instituto Superior Universitario Policía Nacional

- POFREC: En criminalística, es un enfoque utilizado para la recolección, análisis e interpretación de la evidencia en el proceso investigativo.

1.4.Visión general del documento

- Introducción: Se establece el propósito del sistema, ámbito y definiciones.
- Descripción general del producto: Se proporcionan detalles sobre el producto.
- Requisitos específicos: En este punto se establece de manera más específica los criterios que deben cumplir los requerimientos.

2. Descripción General

En este punto, se proporcionan detalles sobre el producto que se pretende generar.

2.1.Perspectiva del producto

El producto será autónomo e independiente de otros sistemas existentes en la DINITEC, utilizando sus propias herramientas y tecnologías.

2.2.Funcionalidad del producto

El sistema proporcionará un entorno virtual inmersivo que permitirá la simulación de una escena del crimen. Los usuarios podrán interactuar con los objetos presentes en la escena y usar herramientas forenses especializadas para practicar IOT.

2.3.Características de los usuarios

El sistema estará dirigido a los peritos de criminalística de la DINITEC, cadetes de la Escuela Superior de la Policía Nacional y estudiantes de criminalística del ISUPOL los cuales requieren entrenamiento en IOT.

2.4.Restricciones

- El sistema estará diseñado exclusivamente para ser utilizado en dispositivos de realidad virtual Meta Quest 2 y 3.
- El sistema no compartirá datos con otros sistemas utilizados por la entidad.

- El sistema permitirá aplicar la metodología POFREC; sin embargo, la cadena de custodia no estará presente en la simulación, porque está destinada únicamente para entrenamiento.

- El sistema no es educativo, es un entorno que permite poner los conocimientos en práctica sin llevar de la mano al usuario de lo que debe hacer.

2.5.Suposiciones y dependencias

- El usuario debe contar con dispositivos de realidad virtual Meta Quest 2 o 3.

- El sistema depende de los dispositivos de RV para ofrecer la experiencia inmersiva.

2.6.Requisitos futuros

En una fase futura, se espera que el sistema evolucione para funcionar en ordenadores sin depender de los dispositivos de realidad virtual.

3. Requisitos específicos

En este punto se definen los requisitos funcionales y no funcionales con los que contará el sistema.

3.1.Interfaces externas

El sistema será autónomo e independiente, sin requerir otros sistemas o hardware adicional.

3.2.Funciones

En este punto se define con lo que debe contar el sistema

3.2.1. Acciones del jugador

- El jugador podrá teletransportarse en el escenario.

- El jugador podrá agarrar y desplazar objetos.

- El jugador podrá abrir el menú, navegar y seleccionar opciones.

3.2.2. Herramientas forenses

- Cámara de fotografía: Cuatro modos de fotografía (automático, manual, filtros e infrarrojo). Los modos permitirán aumentar brillo a la vista o aplicar filtros para visualizar elementos no visibles.
- Pincel revelador de huellas: Usado para revelar huellas invisibles.
- Adhesivo para huellas: Permite adherir huellas al material.
- Kit de luces forenses: Para visualizar evidencias no visibles a simple vista.
- Hisopo para recolección de muestras: Para recoger muestras biológicas.
- Numerador de evidencia y cadáver: Asigna números secuenciales a las evidencias.
- Cinta de aislamiento: Delimita el área de la escena del crimen.
- Medidor láser: Mide distancias precisas.
- Testigo métrico: Utilizado como referencia de escala.

3.2.3. Navegación entre menús

- Menú de herramientas: Acceso cuando no se tiene ningún objeto en mano. Permite generar herramientas.
- Menú de embalaje: Acceso cuando se tiene un objeto guardable de la escena del crimen en mano. Permite realizar el embalaje o enviar el objeto.
- Menú de almacenaje: Acceso cuando se tiene una herramienta en mano. Permite guardar el objeto.

3.2.4. Instrumentos para embalaje

- Funda plástica

- Funda de papel
- Frasco
- Caja
- Caja de Petri
- Tarjeta FTA

3.3.Requisitos de rendimiento

El sistema debe funcionar de manera óptima en los dispositivos Meta Quest 2 y 3.

3.4.Restricciones de diseño

El sistema debe ser amigable e intuitivo, permitiendo que usuarios sin experiencia previa en realidad virtual puedan adaptarse rápidamente.

3.5.Atributos del sistema

Escalabilidad para incluir más escenas del crimen o usuarios adicionales.

3.6.Otros requisitos

Se deberá utilizar herramientas de desarrollo que sean de uso libre o que cuenten con licencias disponibles, a fin de prevenir inconvenientes legales o técnicos en el futuro.

Anexo E. Representación visual de las mecánicas del jugador

En este punto se presentan de forma visual las mecánicas que el jugador puede ejecutar durante su experiencia en el entorno virtual inmersivo.

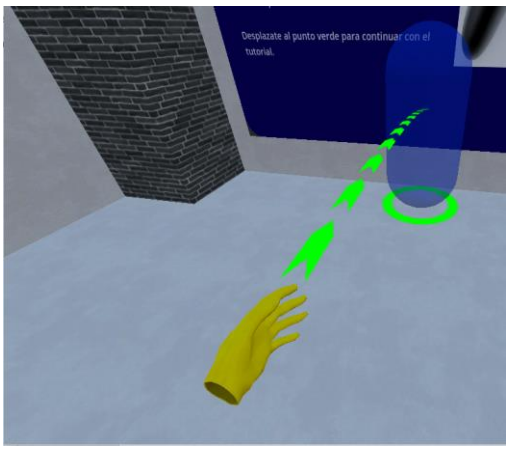


Figura 41. Mecánica de teletransporte

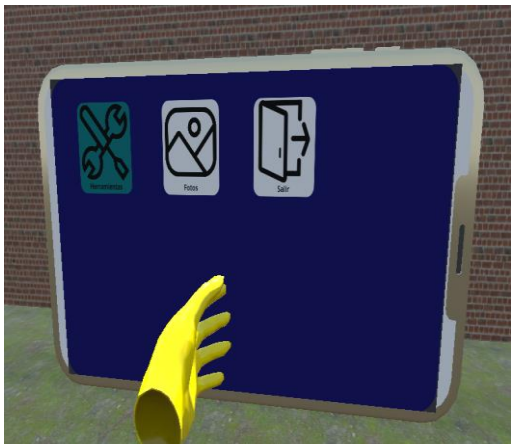


Figura 42. Mecánica de abrir el menú

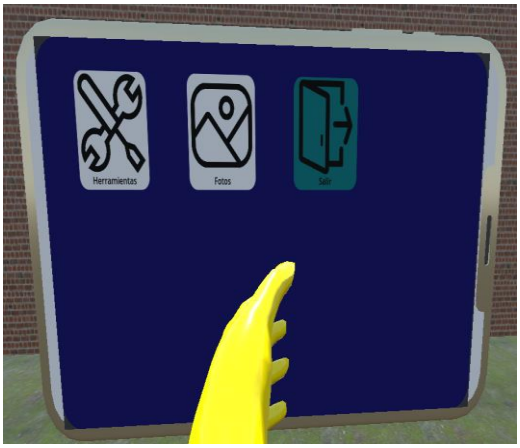


Figura 43. Mecánica de navegar en el menú



Figura 44. Mecánica de seleccionar en el menú

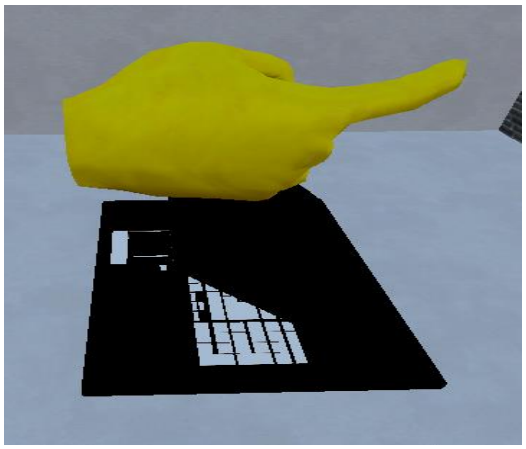


Figura 45. Mecánica de agarrar objetos

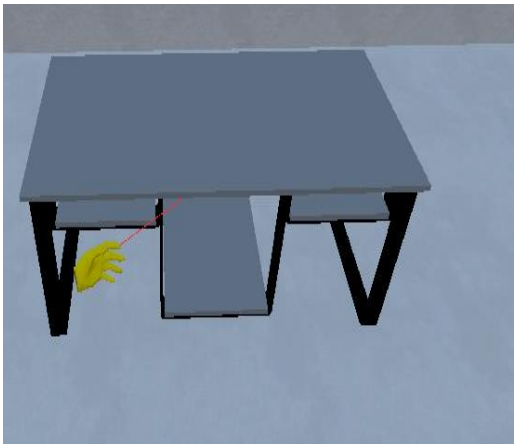


Figura 46. Mecánica de desplazar objetos

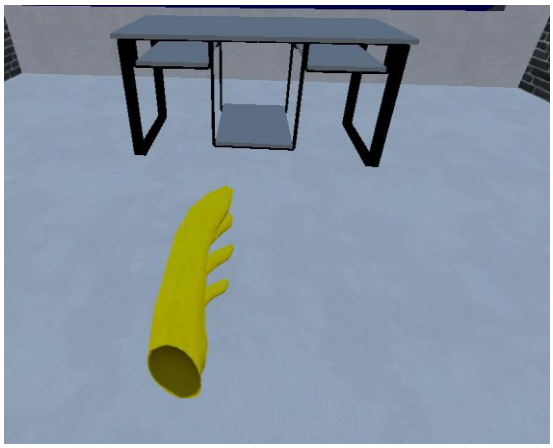


Figura 47. Mecánica de agacharse

Anexo F. Objetos desplazables

En este punto se pueden evidenciar los objetos desplazables que forman parte del entorno virtual inmersivo, las cuales pueden componerse de objetos agarrables para dar una mayor sensación de inmersión.

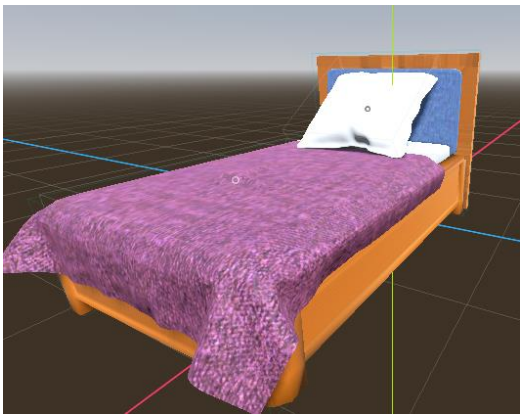


Figura 48. Cama

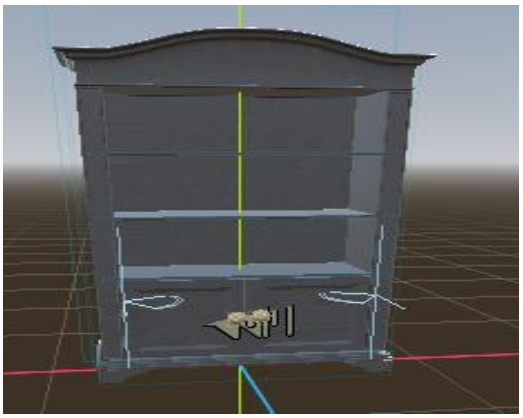


Figura 49. Armario

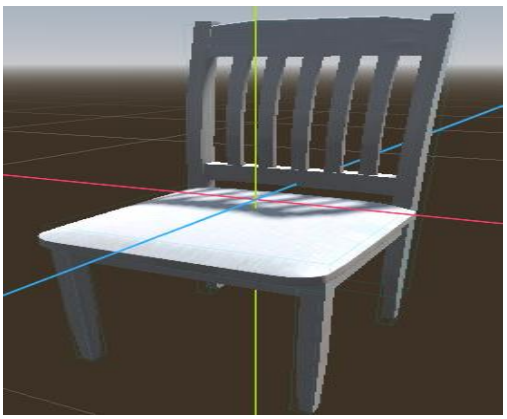


Figura 50. Silla

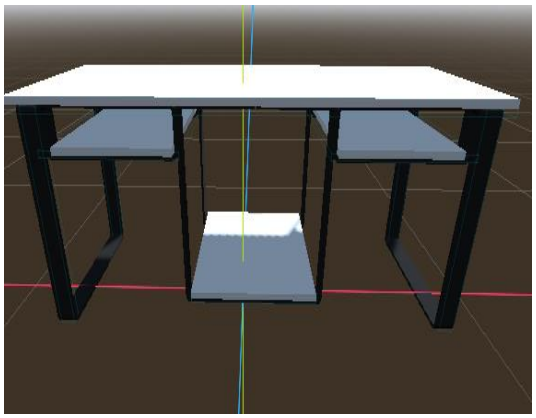


Figura 51. Estante

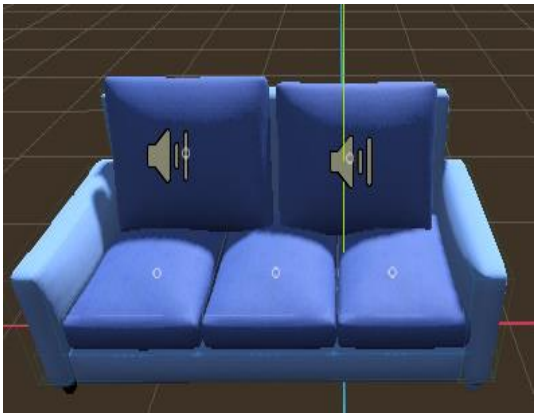


Figura 52. Sofá

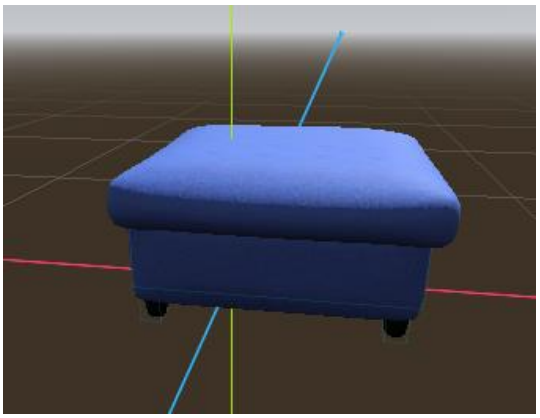


Figura 53. Puf de sofá

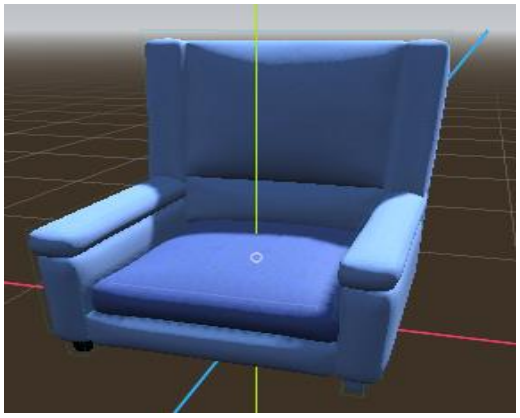


Figura 54. Sofá individual

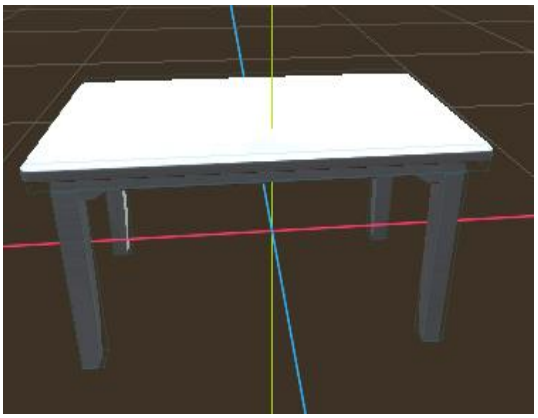


Figura 55. Mesa

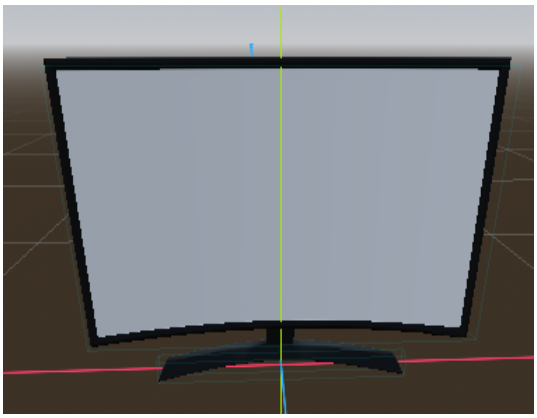


Figura 56. Televisor

Anexo G. Objetos agarrables de tipo herramienta

En este punto se puede evidenciar los objetos agarrables de tipo herramienta, donde existen herramientas que son informativas mientras que otras son funcionales.



Figura 57. Cinta de seguridad



Figura 58. Numerador

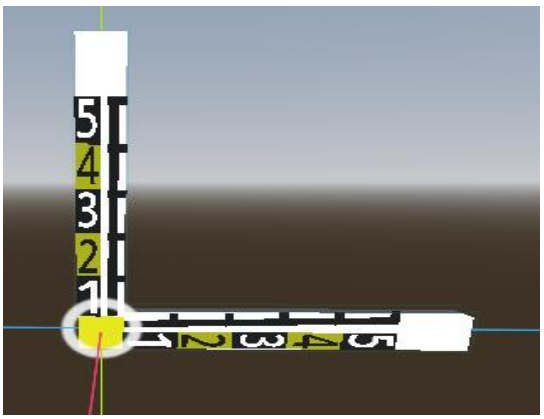


Figura 59. Testigo métrico



Figura 60. Medidor laser

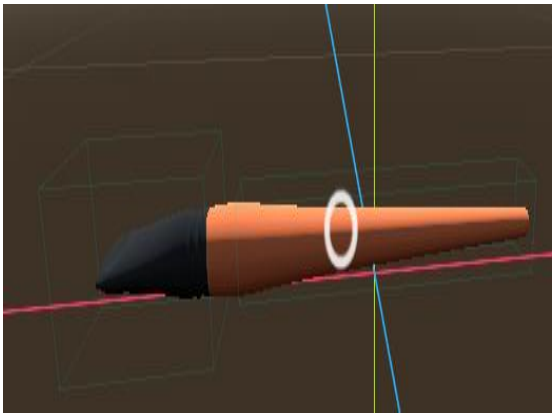


Figura 61. Pincel para revelado de huellas dactilares

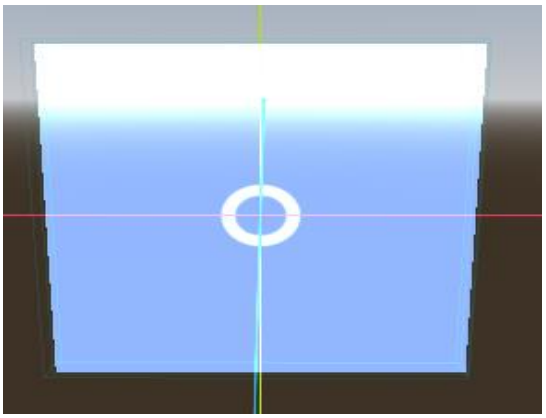


Figura 62. Adhesivo para huellas

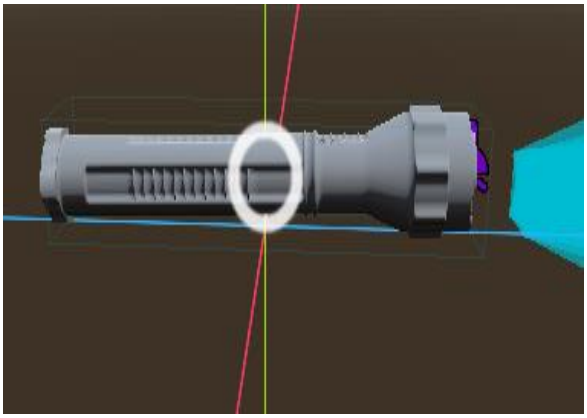


Figura 63. Luz forense

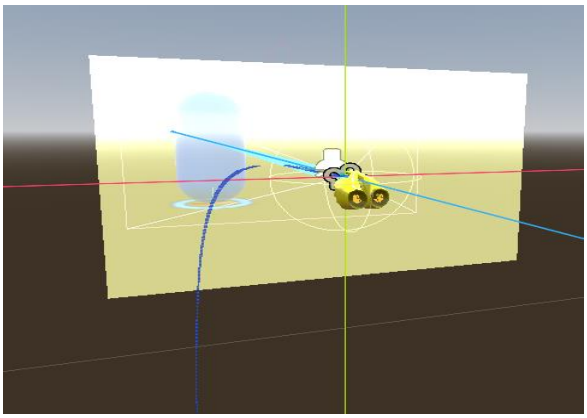


Figura 64. Visor del jugador

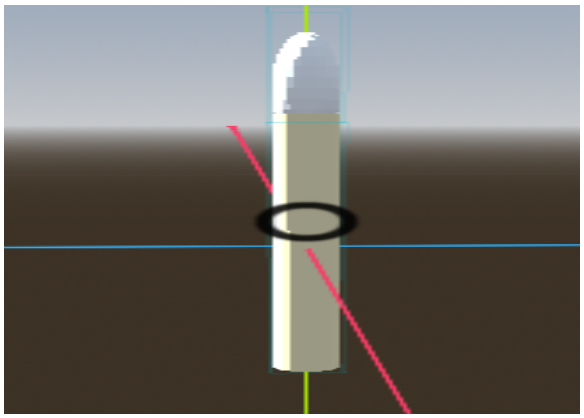


Figura 65. Hisopo

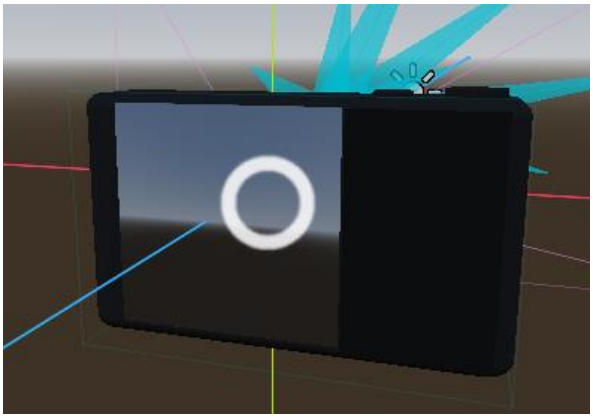


Figura 66. Cámara forense

Anexo H. Objetos agarrables de tipo decorativo

En este punto se pueden evidenciar los objetos agarrables de tipo decorativo, todos estos no tienen una funcionalidad particular mayor a poder ser agarrados.

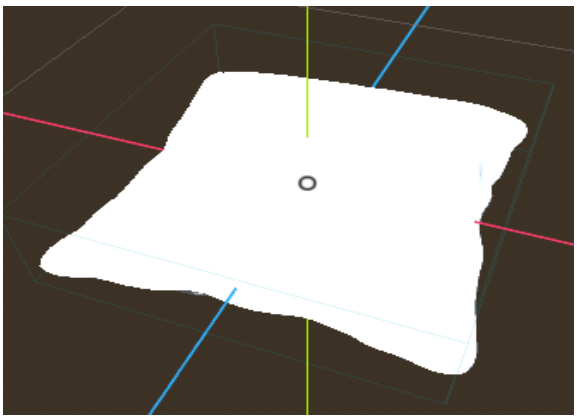


Figura 67. Almohada

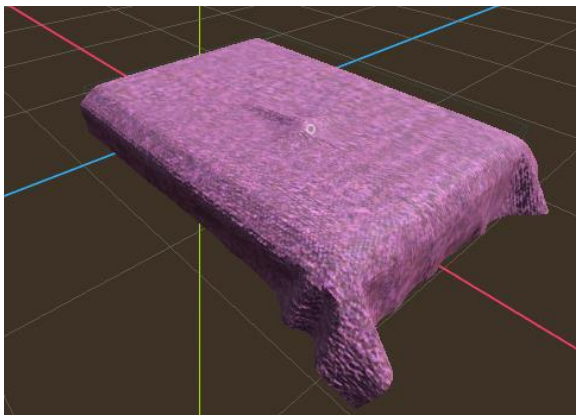


Figura 68. Sábana

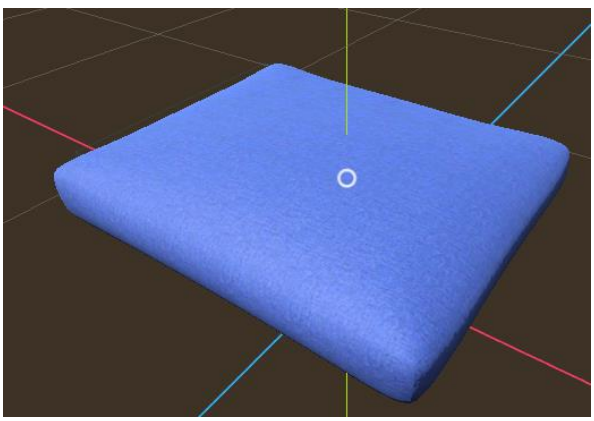


Figura 69. Cojín

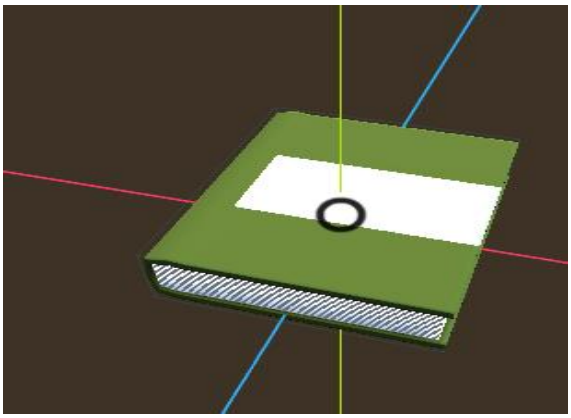


Figura 70. Libro



Figura 71. Portarretratos

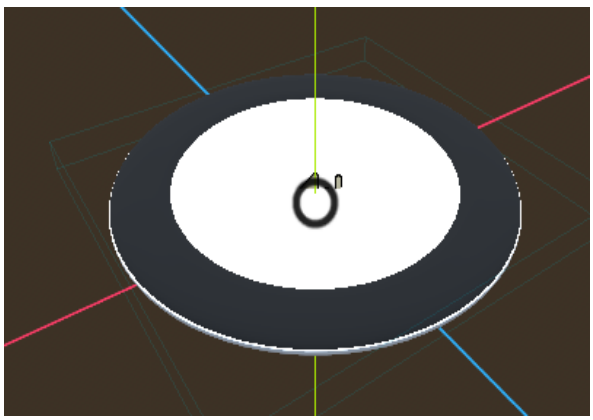


Figura 72. Plato

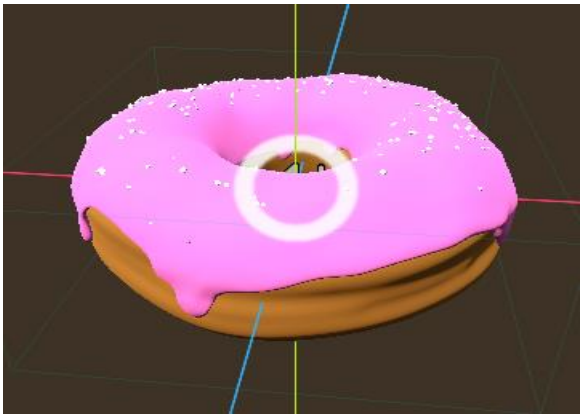


Figura 73. Dona

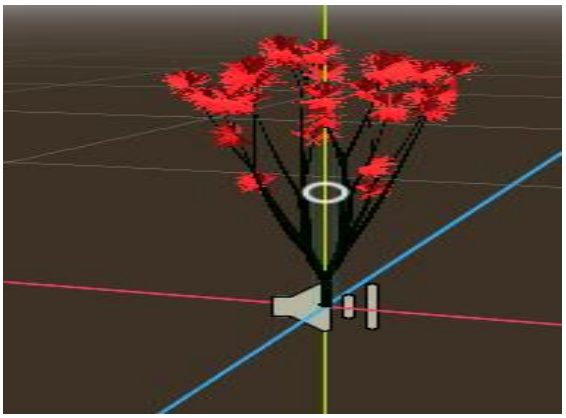


Figura 74. Flor

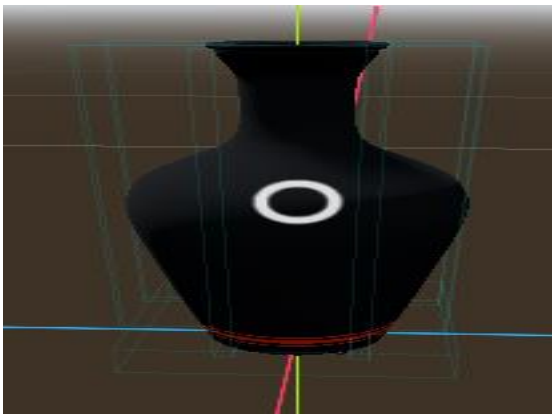


Figura 75. Florero

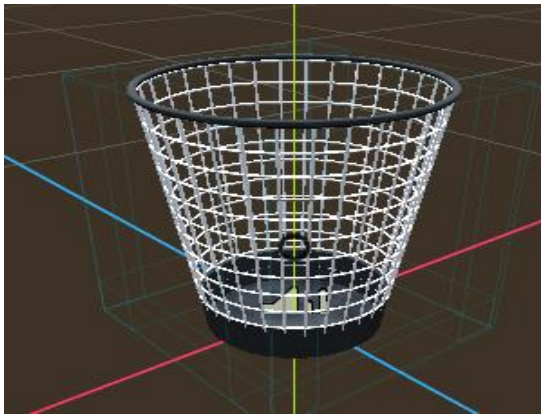


Figura 76. Cesto de basura

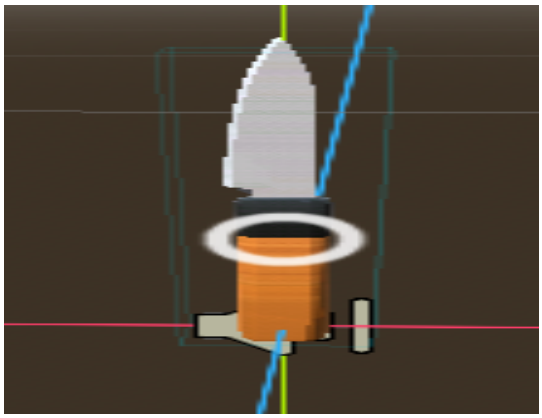


Figura 77. Cuchillo

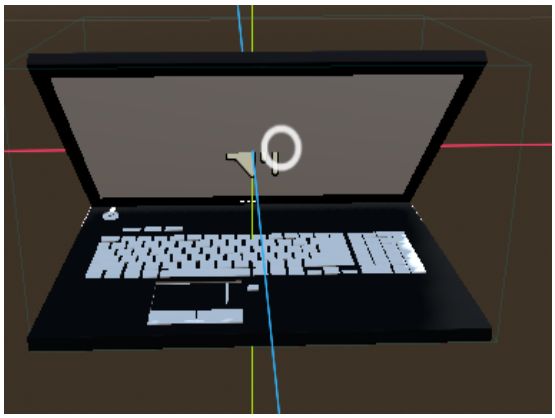


Figura 78. Laptop

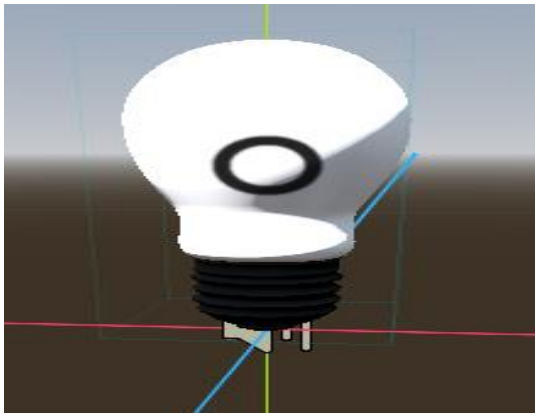


Figura 79. Foco

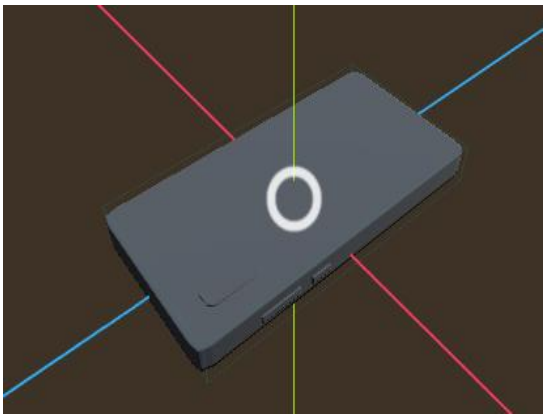


Figura 80. Teléfono

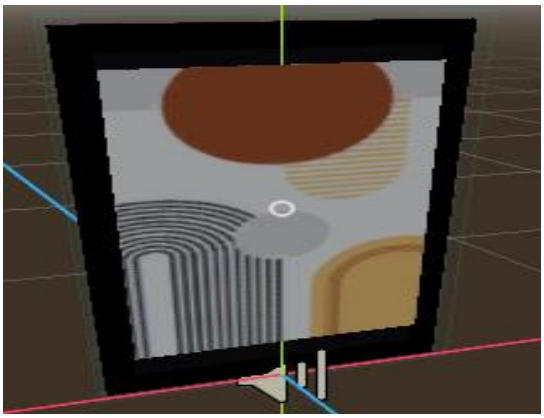


Figura 81. Pintura

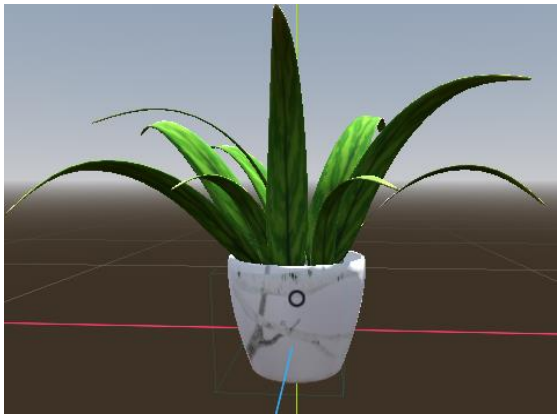


Figura 82. Planta

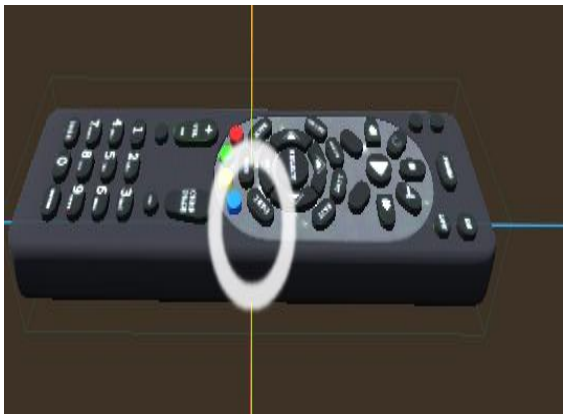


Figura 83. Control remoto

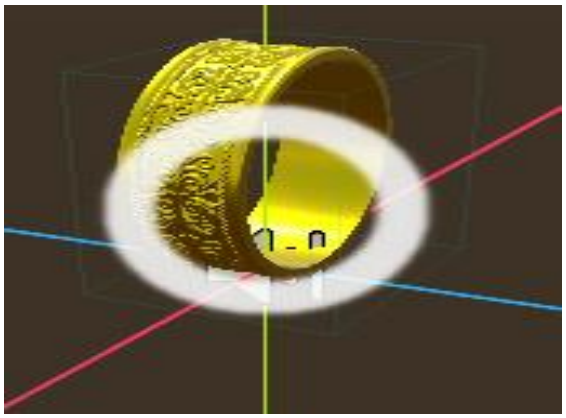


Figura 84. Anillo

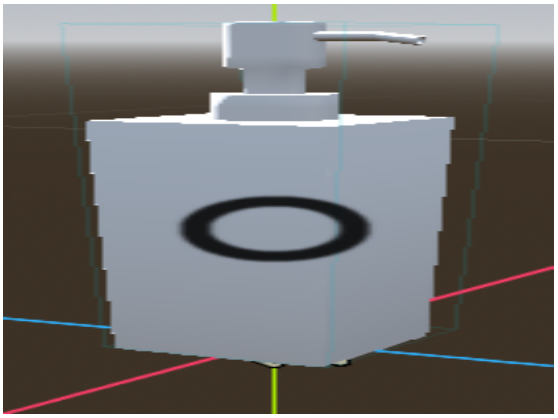


Figura 85. Jabón líquido

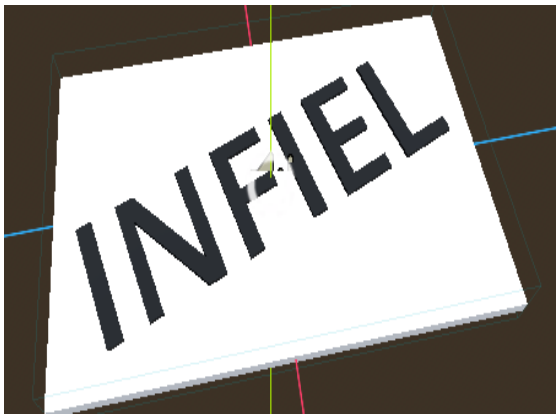


Figura 86. Hoja

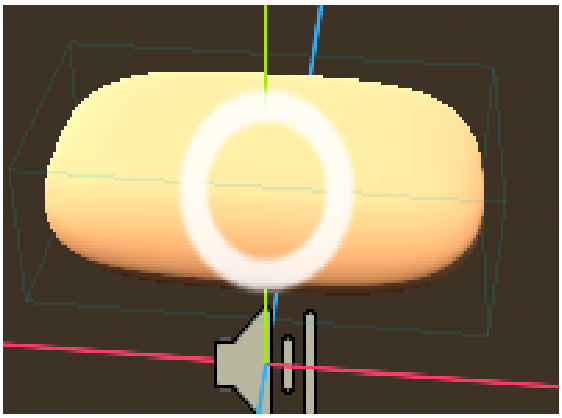


Figura 87. Jabón en barra

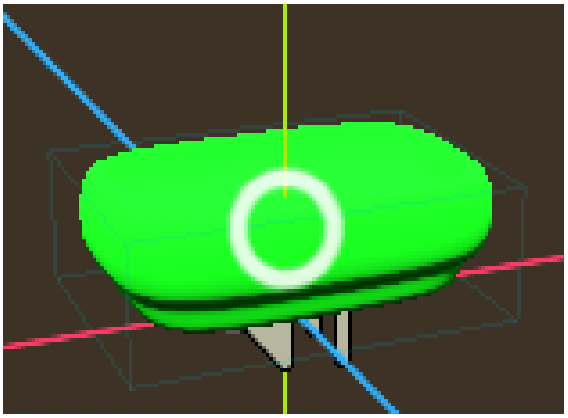


Figura 88. Contenedor del jabón en barra

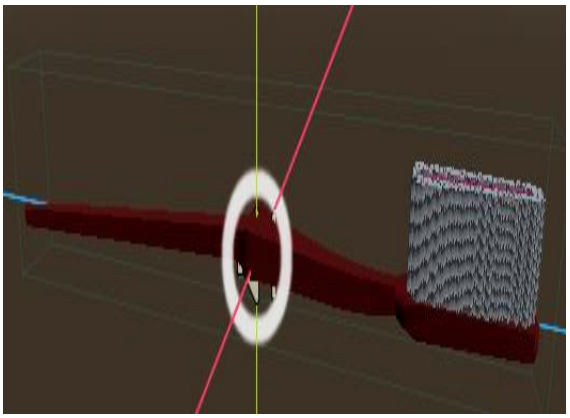


Figura 89. Cepillo de dientes

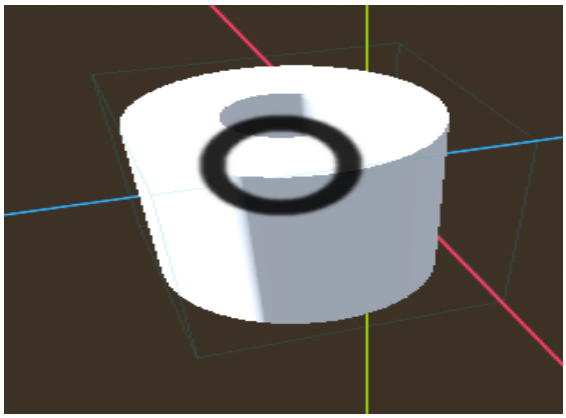


Figura 90. Papel higiénico



Figura 91. Bebida alcohólica

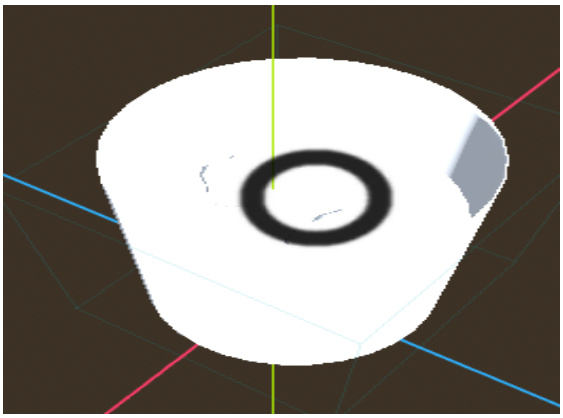


Figura 92. Vaso

Anexo I. Paquetes

En este punto se pueden observar los paquetes en los que pueden ser embalados los objetos agarrables de tipo decorativo, con el fin de preservar evidencia.

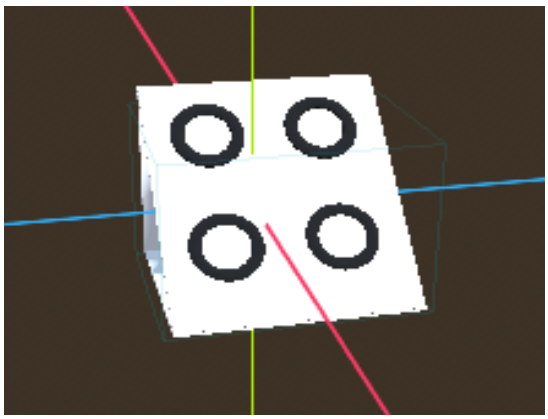


Figura 93. Tarjeta FTA

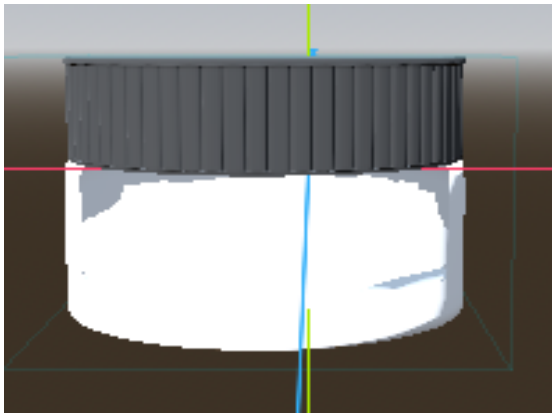


Figura 94. Frasco

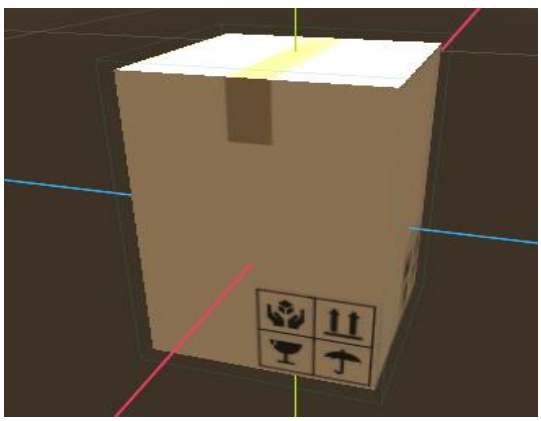


Figura 95. Caja de cartón

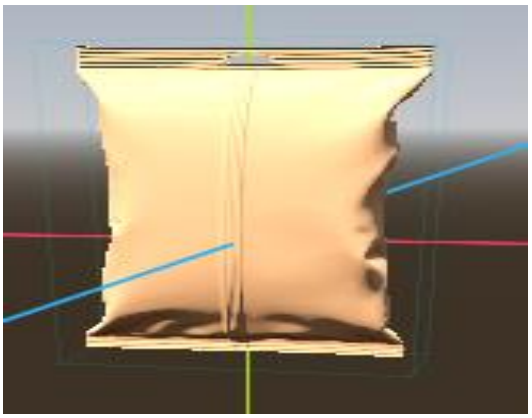


Figura 96. Funda de papel

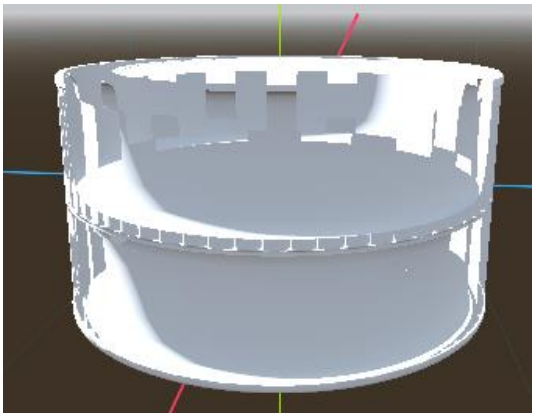


Figura 97. Caja petri

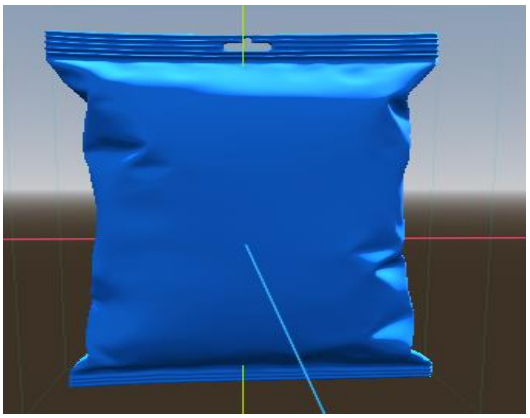


Figura 98. Funda plástica

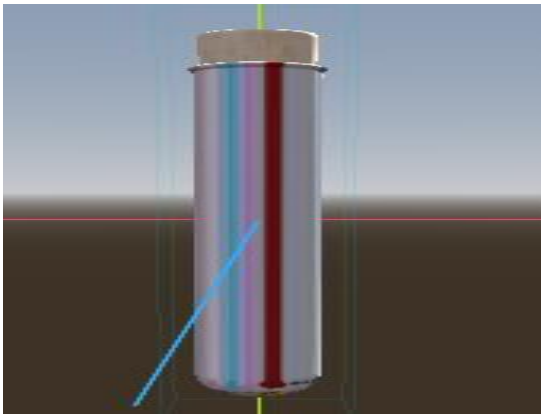


Figura 99. Tubo de ensayo

Anexo J. Interfaces para el vestíbulo

Las interfaces del vestíbulo forman parte del primer mundo al cual tiene acceso el participante al iniciar el entorno virtual inmersivo, desde este punto logrará navegar a los otros mundos.

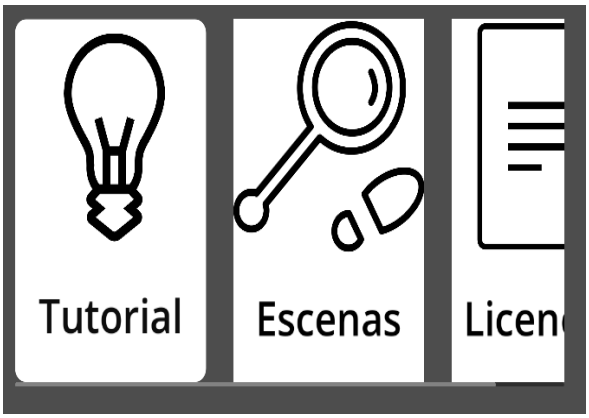


Figura 100. Interfaz principal del vestíbulo

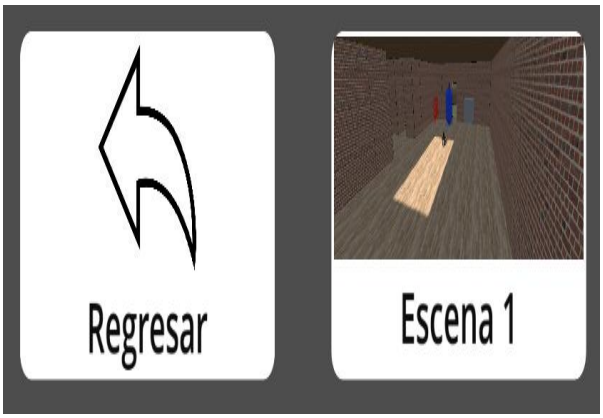


Figura 101. Interfaz para escenas

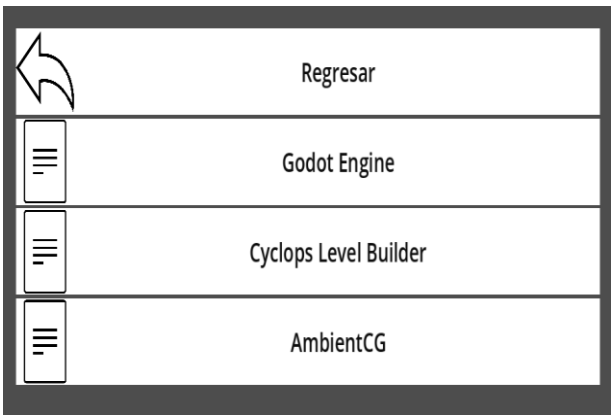


Figura 102. Interfaz para licencias



Figura 103. Interfaz para detalle de licencias

Anexo K. Interfaces para el tutorial

Las interfaces para el tutorial servirán para que el participante pueda comprender las mecánicas de manera textual y visual.



Figura 104. Interfaz para el tutorial de teletransporte



Figura 105. Interfaz para el tutorial de agarrar objetos



Figura 106. Interfaz para el tutorial de desplazar objetos



Figura 107. Interfaz para el tutorial de agacharse



Figura 108. Interfaz para el tutorial de interacción con el menú

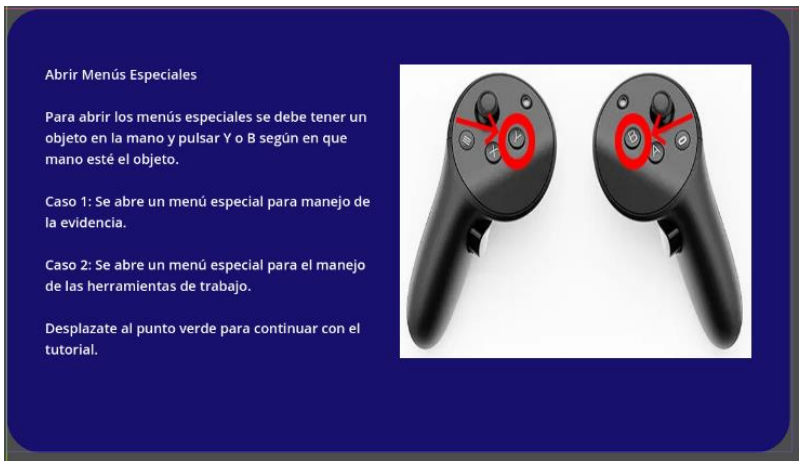


Figura 109. Interfaz para el tutorial de abrir menús especiales

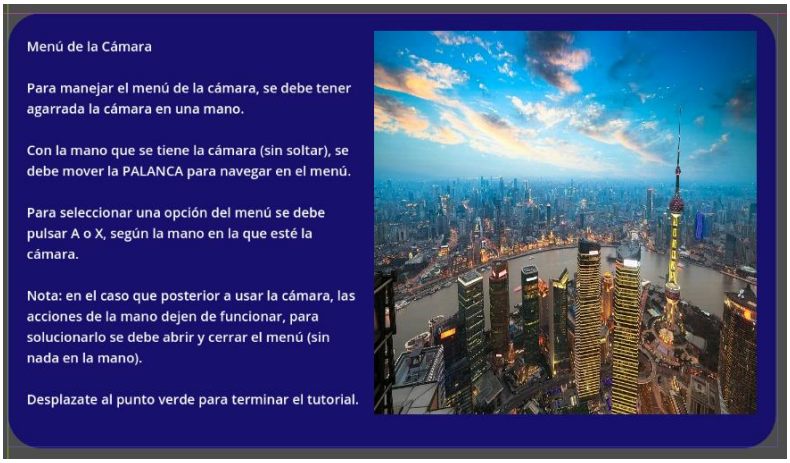


Figura 110. Interfaz para el tutorial de interacción con la cámara

Anexo L. Interfaces para el jugador

En este punto se muestra las interfaces que tiene interacción el jugador al abrir el menú general.



Figura 111. Interfaz principal del menú general

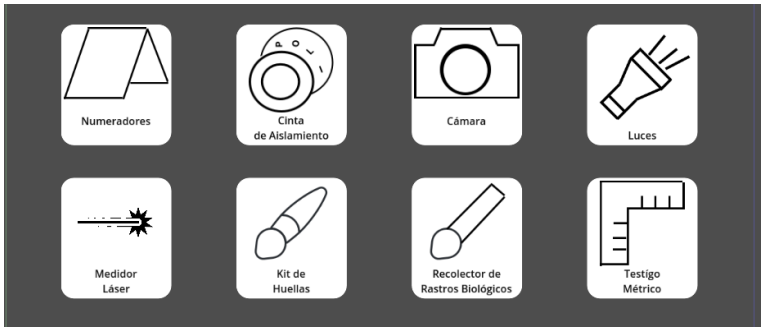


Figura 112. Interfaz de herramientas

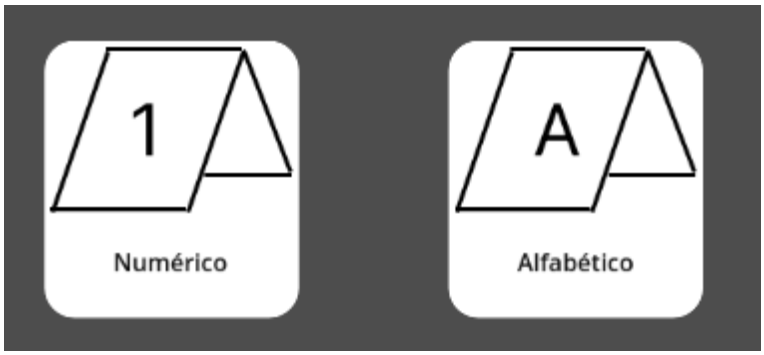


Figura 113. Interfaz de numeradores

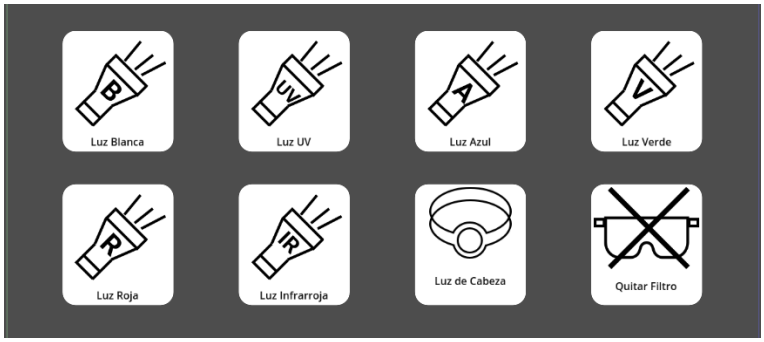


Figura 114. Interfaz de luces

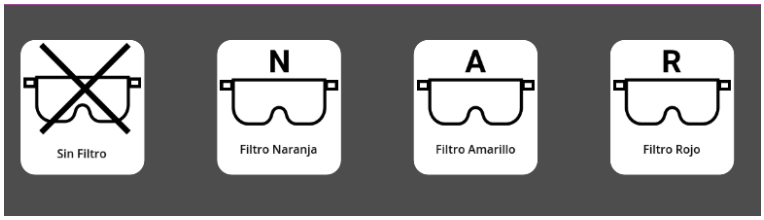


Figura 115. Interfaz de visores para el jugador al usar luces

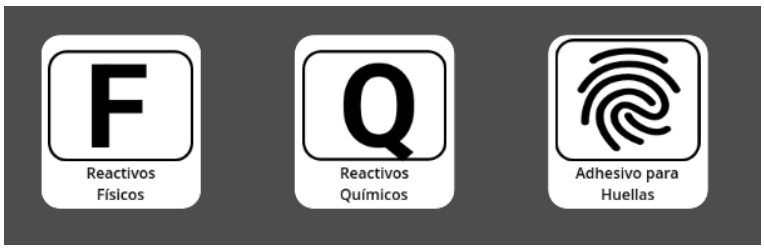


Figura 116. Interfaz del kit de huellas

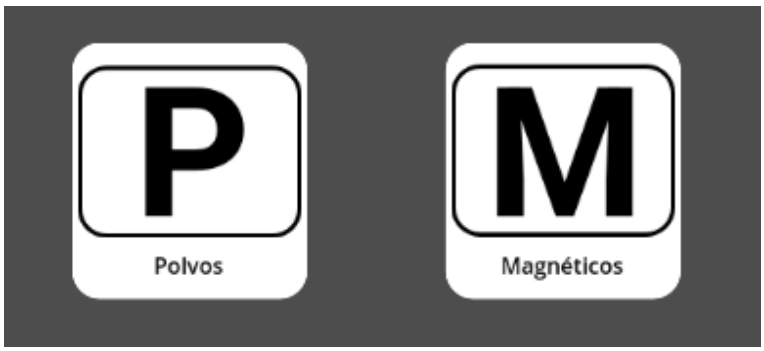


Figura 117. Interfaz de reactivos físicos



Figura 118. Interfaz para polvos



Figura 119. Interfaz para polvos magnéticos

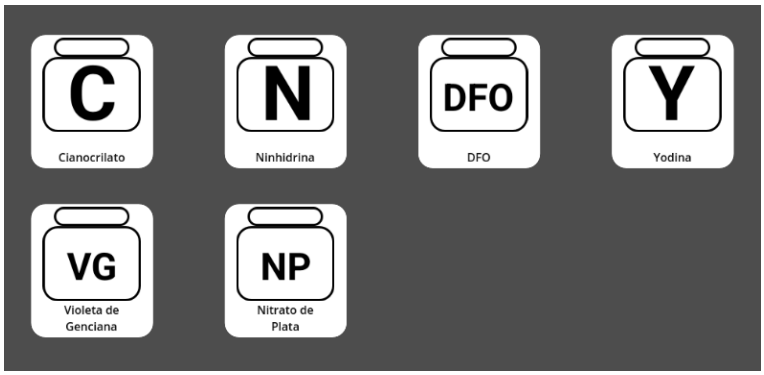


Figura 120. Interfaz para reactivos químicos

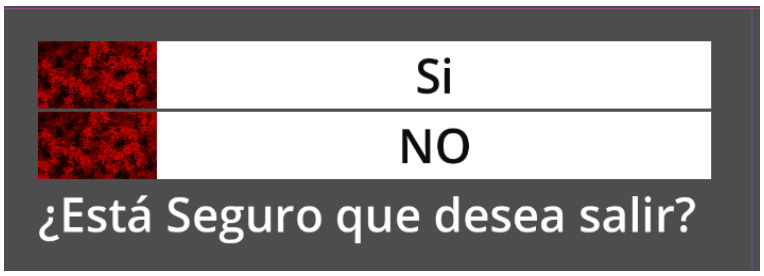


Figura 121. Interfaz para salir

En este punto se muestra la interfaz que tiene interacción el jugador al abrir el menú de objetos de tipo herramienta.

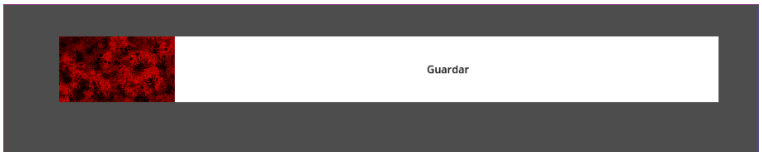


Figura 122. Interfaz principal para objetos de tipo herramienta

En este punto se muestra las interfaces que tiene interacción el jugador al abrir el menú de objetos de tipo decorativo.



Figura 123. Interfaz principal para objetos de tipo decorativo

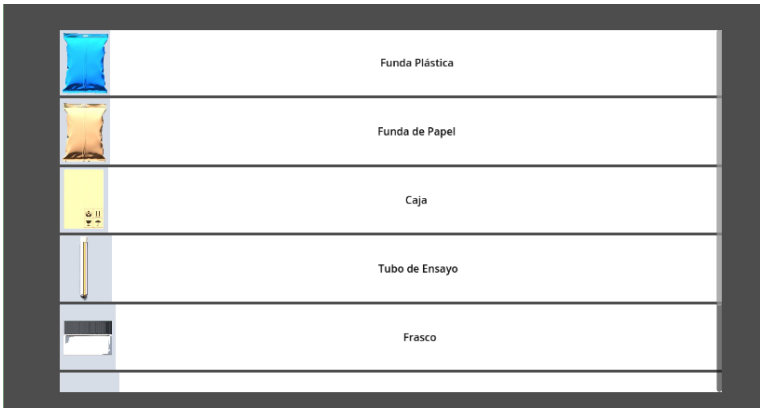


Figura 124. Interfaz para embalaje



Figura 125. Interfaz para envío de evidencia

Anexo M. Interfaces para el objeto

Se muestran las interfaces correspondientes a la cámara forense.

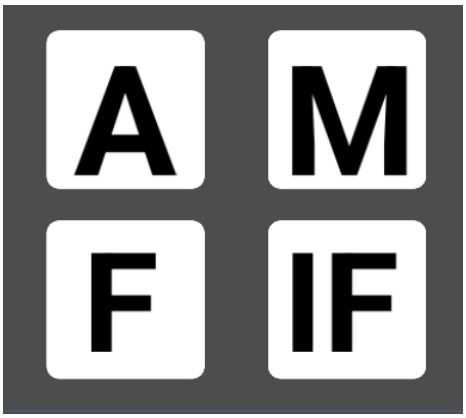


Figura 126. Interfaz principal de la cámara

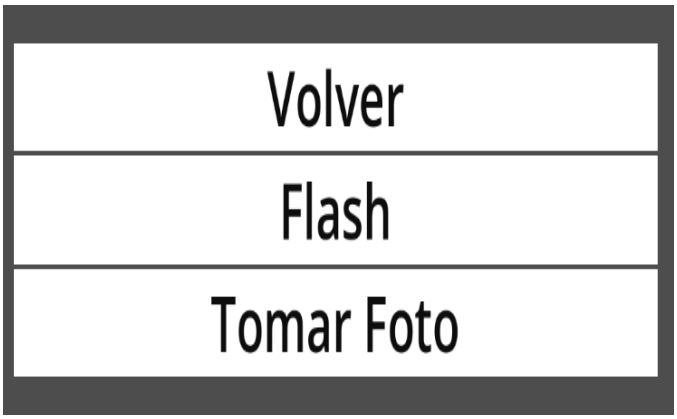


Figura 127. Interfaz de la cámara del modo automático



Figura 128. Interfaz de la cámara del modo filtro



Figura 129. Interfaz de la cámara del modo filtro

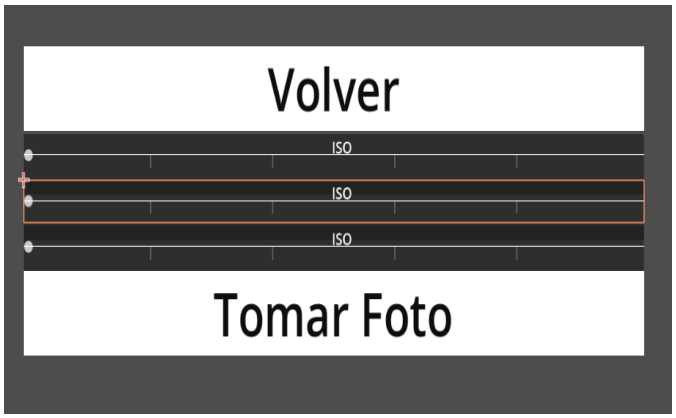


Figura 130. Interfaz de la cámara del modo manual

Anexo N. Elementos estáticos del entorno

En este punto se presentan los elementos que son parte del entorno virtual y que no tienen interacción con el participante. El fin de estos elementos es mejorar el apartado visual y contextual de una escena.

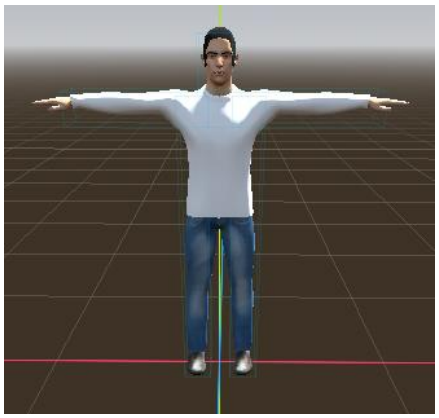


Figura 131. Hombre

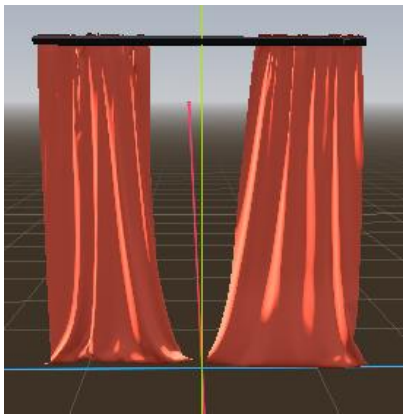


Figura 132. Cortinas

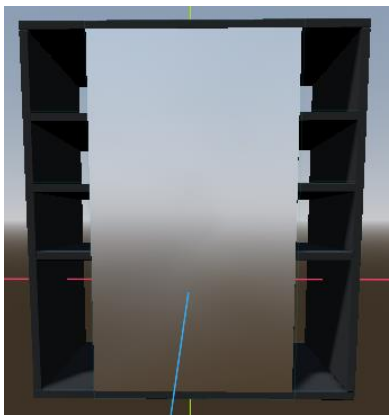


Figura 133. Espejo con gabinete

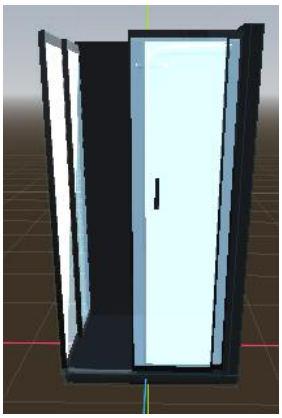


Figura 134. Ducha

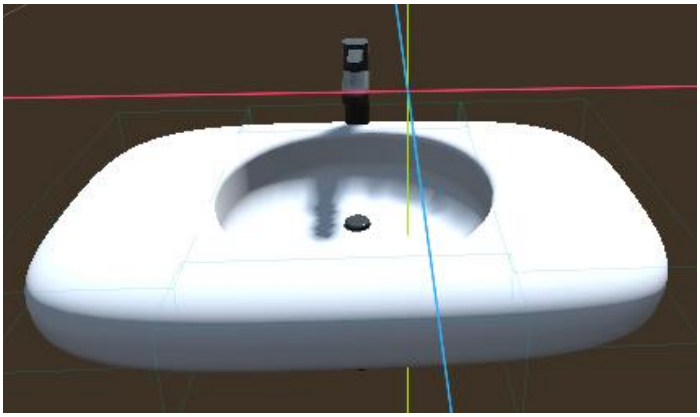


Figura 135. Lavamanos



Figura 136. inodoro

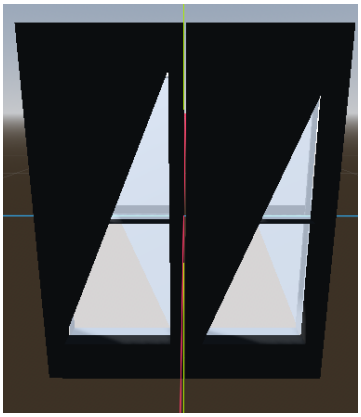


Figura 137. Ventana

Anexo O. Protocolo para la obtención de datos de los expertos en criminalística

1. Objetivo del protocolo:

Evaluar el nivel de aceptación del uso de tecnología inmersiva mediante la aplicación del Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM), antes y después del uso del sistema propuesto.

2. Participantes

- Perfil: Profesionales del área de criminalística, especializados en inspección ocular técnica.
- Criterios de inclusión: Participar voluntariamente y estar disponibles durante todo el proceso de intervención.
- Número estimado de participantes: 15.

3. Variables a medir

- Variable: Nivel de aceptación tecnológica, evaluado mediante el modelo TAM.

4. Instrumento de medición

- Cuestionarios TAM (antes y después del uso del sistema) para medir el nivel de aceptación tecnológica y analizar posibles cambios.

5. Tareas a realizar

El participante deberá realizar el procesamiento de una escena del crimen en un entorno virtual, aplicando los conocimientos adquiridos en su formación profesional en criminalística.

6. Procedimiento

- Se iniciará con una presentación y demostración del sistema, con el objetivo de que los participantes comprendan la propuesta tecnológica y su funcionalidad.

- Se aplicará el cuestionario TAM antes del uso del sistema, basado en las percepciones generadas por la presentación y demostración.
- Posteriormente, se entregará un manual de usuario para que los participantes identifiquen los elementos y mecánicas del entorno virtual.
- Se desarrollarán dos sesiones
- Primera sesión: Ejecución de un tutorial único, con el fin de familiarizarse con los controles y funciones del entorno virtual.
- Segunda sesión: Procesamiento completo de una escena del crimen dentro del entorno inmersivo.
- Al finalizar la segunda sesión, se aplicará el cuestionario TAM posterior al uso del sistema.

7. Condiciones del entorno

- Lugar: Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, sede Quito.
- Recursos: Dispositivo Meta Quest 3 y computadora con conexión a internet estable.
- Horario: Según la disponibilidad del experto participable.

8. Aspectos éticos

- La participación es voluntaria
- Los datos son anónimos y serán usados únicamente con fines de investigación.
- Los participantes serán informados del objetivo de la actividad y podrán desistir en cualquier momento sin consecuencias.

9. Anexos adicionales

- El manual de usuario se encuentra en el Anexo P.
- La encuesta TAM aplicada antes del uso se encuentra en el Anexo Q.
- La encuesta TAM aplicada después del uso se encuentra en el Anexo R.

1. Nombre del sistema

Sistema Virtual Forense

2. Descripción del sistema

Nuestro sistema es un entorno virtual diseñado para la investigación y procesamiento de escenas del crimen. Brinda a los usuarios un espacio inmersivo donde pueden aplicar buenas prácticas en la Inspección Ocular Técnica (IOT), utilizando herramientas especializadas proporcionadas dentro del entorno. A diferencia de un sistema guiado, no impone un método específico, sino que permite a los usuarios desarrollar sus habilidades y conocimientos en la gestión y análisis de escenas del crimen de manera autónoma y realista.

3. Acciones del jugador

Las acciones del jugador están habilitadas para realizarse con cualquiera de los dos mandos.

A continuación, se detallan las acciones disponibles dentro del entorno virtual:

3.1. Teletransportación



Figura 138. Activador de la mecánica de teletransportación

La acción de teletransportación permite al jugador desplazarse por el entorno. Para ejecutar esta acción correctamente, se deben seguir los siguientes pasos:

- Paso 1: Mover la palanca en dirección frontal (mantener esta posición). Se podrá visualizar un ente color azul transparente con una base color rojo o verde.

- Paso 2: Mover el mando con el que se activó la mecánica. Este mando permite apuntar en la dirección hacia donde el jugador podrá desplazarse. Si la base del ente es de color verde, el teletransporte está habilitado; en cambio, si la base es roja, ese espacio no permitirá el teletransporte.

- Paso 3: Para confirmar la teletransportación, soltar la palanca.

3.2. Agarrar objetos



Figura 139. Activador de la mecánica de agarrar objetos

La acción de agarrar objetos permite tomar los objetos del entorno y llevarlos en la mano. Para ejecutar esta acción correctamente, se deben seguir los siguientes pasos:

- Paso 1: Identificar el objeto que se pretende agarrar.

- Paso 2: Desplazarse hasta estar cerca del objeto que se pretende agarrar.

- Paso 3: Acercar el mando hasta que en el objeto se pueda ver un aro de color blanco o negro.

- Paso 4: Pulsar el gatillo lateral (mantener pulsado). El objeto se pondrá en la mano del jugador y se podrá mover libremente mientras se mantenga pulsado el gatillo.

- Paso 5: Para soltar el objeto de la mano del jugador, dejar de pulsar el gatillo lateral.

3.3. Agacharse



Figura 140. Activador de la mecánica de agacharse

La acción de agacharse permite al jugador inclinarse en el entorno virtual sin necesidad de hacerlo físicamente en la vida real. Para ejecutar esta acción correctamente, se deben seguir los siguientes pasos:

- Paso 1: Pulsar el botón A o X del mando (mantener pulsado). El jugador se inclinará en el entorno virtual mientras se mantenga pulsado el botón.
- Paso 2: Para volver a la posición original, dejar de pulsar el botón.

3.4. Desplazar objetos grandes



Figura 141. Activador de la mecánica de desplazar objetos grandes

La acción de desplazar objetos grandes permite mover objetos que no pueden ser agarrados en la mano (armarios, mesas, muebles, etc.) hasta el punto que se desee. Para ejecutar esta acción correctamente, se deben seguir los siguientes pasos:

- Paso 1: Identificar el objeto de gran tamaño.
- Paso 2: Apuntar con el mando el objeto de gran tamaño. Si ese objeto es desplazable se podrá visualizar un láser de color rojo salir de la mano del jugador.
- Paso 3: Para comenzar a mover el objeto pulsar el gatillo superior (mantener pulsado) y desplazar el objeto moviendo la mano del jugador. El objeto se irá desplazando por el entorno virtual.
- Paso 4: Para detener el movimiento del objeto con la mano del jugador, dejar de pulsar el gatillo superior.

3.5. Interacción con menús



Figura 142. Activador de la mecánica de mostrar menú

En el mundo virtual, existen varios menús que permiten ejecutar diferentes opciones. Todos son interactuables siguiendo los mismos pasos, con la única diferencia en la manera en que se activan para comenzar a interactuar con ellos. A continuación, se dan los pasos para la interacción con los menús:

- Paso 1: Mover la palanca en cualquiera de los 4 ejes (depende del formato del menú) hasta la opción que se quiere seleccionar.

- Paso 2: Pulsar el botón A o X para confirmar la opción del menú.

El movimiento de la palanca y la pulsación del botón solo se puede hacer con el mando con el que se activó el menú.

A continuación, se presentan los tipos de menú existentes en el entorno virtual y como activarlos.

3.5.1. Menú del lobby

El menú del lobby se presenta al iniciar el sistema. Este menú no requiere activación y es el único que se puede interactuar con los dos manos.

3.5.2. Menú general

El menú general se debe activar pulsado el botón B o Y del mando. Con el mando que se activó se podrá interactuar en el menú. Para cerrar el menú se debe volver a pulsar el botón B o Y del mando con el que se activó el menú.

3.5.3. Menú de objeto

El menú de objeto se debe activar pulsando el botón B o Y del mando en el que se tenga un objeto en la mano del jugador. Con el mando que se activó se podrá interactuar en el menú. Para cerrar el menú volver a pulsar el botón B o Y del mando con el que se activó el menú.

3.5.4. Menú de herramienta

El menú de objeto se debe activar pulsando el botón B o Y del mando en el que se tenga una herramienta en la mano del jugador. Con el mando que se activó se podrá interactuar en el menú. Las herramientas son las que genera el jugador. Para cerrar el menú volver a pulsar el botón B o Y del mando con el que se activó el menú.

3.5.5. Menú de cámara

Para activar el menú de cámara se debe tener en la mano la herramienta de la cámara. Para la interacción con la cámara en ningún momento se puede soltar (gatillo lateral)

la herramienta. Para dejar de interactuar con la cámara, soltar (gatillo lateral) la herramienta.

4. Herramientas

En el sistema virtual forense, el jugador podrá generar herramientas mediante para realizar el procesamiento de la escena del crimen que se generan mediante el menú general. A continuación, se describen las herramientas existentes:

- Numeradores
- Cinta de aislamiento
- Cámara
- Kit de luces
- Medidor laser
- Kit de huellas
- Recolector de rastros biológicos
- Testigo métrico

El kit de luces incluye:

- Luz blanca
- Luz UV
- Luz azul
- Luz verde
- Luz roja
- Luz infrarroja
- Luz de cabeza

- Filtro naranja
- Filtro amarillo
- Filtro rojo

El kit de huellas incluye:

- Polvos blancos
- Polvos negros
- Polvos fluorescentes
- Magnéticos blancos
- Magnéticos negros
- Magnéticos fluorescentes
- Cianocrilato
- Ninhidrina
- DFO
- Yodina
- Violetra de genciana
- Nitrato de plata
- Adhesivo para huellas

Anexo Q. Encuesta antes del uso del sistema

El objetivo del presente cuestionario es recopilar información importante que permitirá evaluar la situación para implementación de una solución. Tus respuestas nos ayudarán a entender mejor las percepciones sobre el impacto de la tecnología en el aprendizaje y el trabajo.

Instrucciones

Por favor, indique el nivel con el que se identifica a las siguientes afirmaciones, utilizando la siguiente escala:

1 = Totalmente en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Neutral

4 = De acuerdo

5 = Totalmente de acuerdo

Utilidad percibida

- Creo que el uso de realidad virtual mejoraría mi capacidad para realizar inspección ocular técnica.
- Creo que la realidad virtual me puede permitir aprender de manera más efectiva que con los métodos tradicionales.
- Creo que entrenar mediante el uso de realidad virtual en inspección ocular técnica me puede permitir mejorar la toma de decisiones.

Facilidad de uso percibida

- Creo que interactuar con los entornos de realidad virtual no requeriría mucho esfuerzo mental.

- Creo que la realidad virtual es intuitiva y fácil de manejar.
- Creo que no necesitaría mucha asistencia técnica para usar esta tecnología.

Intención de uso

- Si tuviera la oportunidad, usaría realidad virtual en mi formación como perito de criminalística.
- Recomendaría el uso de realidad virtual a otros colegas y estudiantes de criminalística.
- Estaría dispuesto a dedicar tiempo a aprender a usar esta tecnología si se implementara en mi formación.

Actitud hacia el uso

- Me parece que usar realidad virtual en mi formación sería una buena idea.
- Estoy entusiasmado con la posibilidad de usar realidad virtual en mi formación.
- Creo que la realidad virtual haría mi formación más interesante y motivadora.

Anexo R. Encuesta después del uso del sistema

El objetivo del presente cuestionario es recopilar información importante que permitirá evaluar el sistema para entrenamiento. Tus respuestas nos ayudarán a entender mejor las percepciones sobre el impacto de la tecnología en el aprendizaje y el trabajo.

Instrucciones

Por favor, indique el nivel con el que se identifica a las siguientes afirmaciones, utilizando la siguiente escala:

1 = Totalmente en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Neutral

4 = De acuerdo

5 = Totalmente de acuerdo

Utilidad percibida

- Pienso que el uso de realidad virtual mejorará mi capacidad para realizar inspección ocular técnica.
- Pienso que la realidad virtual me permitirá aprender de manera más efectiva que con los métodos tradicionales.
- Pienso que entrenar mediante el uso de realidad virtual en inspección ocular técnica me permitirá mejorar la toma de decisiones.

Facilidad de uso percibida

- Interactuar con los entornos de realidad virtual no requirió mucho esfuerzo mental.
- La realidad virtual es intuitiva y fácil de manejar.

- No necesité mucha asistencia técnica para usar la realidad virtual.

Intención de uso

- Si tuviera la oportunidad, usaría realidad virtual en mi formación como perito de criminalística.
- Recomendaría el uso de realidad virtual a otros colegas y estudiantes de criminalística.
- Estaría dispuesto a dedicar tiempo a aprender a usar esta tecnología si se implementara en mi formación.

Actitud hacia el uso

- Usar realidad virtual en mi formación sería una buena idea.
- Estoy entusiasmado de usar realidad virtual en mi formación.
- La realidad virtual hará mi formación más interesante y motivadora.

Anexo S. Protocolo para la obtención de datos de los expertos informáticos

1. Objetivo del protocolo:

Evaluar el desempeño y la eficiencia de expertos informáticos mediante la medición del tiempo que tardan en completar un conjunto de tareas definidas dentro de un simulador de escena del crimen. Además, se evaluará la percepción de usabilidad del sistema utilizando el cuestionario SUS (sistema de escala de usabilidad).

2. Participantes

- Perfil: Profesionales del área de informática.
- Criterios de inclusión: Participar voluntariamente y estar disponibles durante todo el proceso de intervención.
- Número estimado de participantes: 5.

3. Variables a medir

- Variable 1: Tiempo de ejecución de las tareas definidas para el simulador.
- Variable 2: Nivel de usabilidad del simulador, medido mediante el cuestionario SUS.

4. Instrumento de medición

- Variable 1: Cronómetro digital para registrar el tiempo de ejecución de las tareas.
- Variable 2: Cuestionario SUS para medir la percepción de usabilidad del sistema.

5. Tareas a realizar

5.1. Variable 1

- Abrir la puerta.

- Colocar en la puerta una cinta de seguridad.
- Identificar el arma del crimen mediante un numerador numérico.
- Identificar el cuerpo de la víctima mediante un numerador alfabético.
- Revelar la huella del arma mediante el uso del pincel para revelar huellas con un reactivo físico de tipo magnético.
- Mantener la integridad de la huella mediante el uso de una cinta para huellas.
- Embalar la cinta para huellas que tiene la huella.
- Usar el hisopo para recolectar el indicio biológico (sangre) de la víctima.
- Embalar el hisopo que tiene el indicio biológico.
- Usar el testigo métrico para verificar la medida del arma del crimen.
- Usar la cámara forense para tomar una fotografía del testigo métrico junto con el arma del crimen.

5.2. Variable 2

- Realizar el cuestionario SUS

6. Procedimiento

- Antes de iniciar la medición, el participante debe realizar una única vez el tutorial del simulador, para familiarizarse con las acciones posibles dentro del entorno virtual.
- En primer lugar, se mide la variable 1. El participante debe ejecutar la secuencia completa de tareas mencionadas anteriormente, un total de 5 veces consecutivas, cronometrando el tiempo de cada ejecución.
- Posteriormente, se aplica el cuestionario SUS para medir la variable 2.

7. Condiciones del entorno

- Lugar: Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial (FISEI).
- Recursos: Dispositivo Meta Quest 3 y computadora con conexión a internet estable.
- Horario: Según la disponibilidad del experto participable.

8. Aspectos éticos

- La participación es voluntaria
- Los datos son anónimos y serán usados únicamente con fines de investigación.
- Los participantes serán informados del objetivo de la actividad y podrán desistir en cualquier momento sin consecuencias.

9. Anexos adicionales

- La encuesta SUS a aplicar se encuentra en el Anexo T.

Anexo T. Encuesta usando las preguntas SUS

El objetivo del presente cuestionario es recopilar información importante que permitirá evaluar la usabilidad del sistema de entrenamiento. Tus respuestas nos ayudarán a entender mejor las percepciones sobre el impacto de la usabilidad en la tecnología.

Instrucciones

Por favor, indique el nivel con el que se identifica a las siguientes afirmaciones, utilizando la siguiente escala:

1 = Totalmente en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Neutral

4 = De acuerdo

5 = Totalmente de acuerdo

Preguntas

1. Creo que me gustaría usar este sistema con frecuencia.
2. Encontré el sistema innecesariamente complejo.
3. Pensé que el sistema era fácil de usar.
4. Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder usar este sistema.
5. Encontré que las diversas funciones del sistema estaban bien integradas
6. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema.
7. Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar este sistema muy rápidamente.
8. Encontré el sistema muy incómodo de usar.

9. Me sentí muy seguro(a) usando el sistema.

10. Necesité aprender muchas cosas antes de poder empezar a usar este sistema.