

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE SOFTWARE

Tema:

APLICACIÓN CON ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA SIMULACIÓN DE UNA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (UCI) COMO APOYO AL PROCESO DE ENSEÑANZA EN LA CARRERA DE ENFERMERÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

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

ÁREA: Desarrollo de Software

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Software, Tecnologías de la Información y Ciencia de Datos

AUTOR: Gabriel Leonardo Medina Vasco

TUTOR: Ing. Oscar Fernando Ibarra Torres, Mg

Ambato - Ecuador

julio – 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: APLICACIÓN CON ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA SIMULACIÓN DE UNA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (UCI) COMO APOYO AL PROCESO DE ENSEÑANZA EN LA CARRERA DE ENFERMERÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Gabriel Leonardo Medina Vasco, 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 2026.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
OSCAR FERNANDO IBARRA TORRES

Ing. Oscar Fernando Ibarra Torres, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: APLICACIÓN CON ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA SIMULACIÓN DE UNA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (UCI) COMO APOYO AL PROCESO DE ENSEÑANZA EN LA CARRERA DE ENFERMERÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 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 2026.



Gabriel Leonardo Medina Vasco

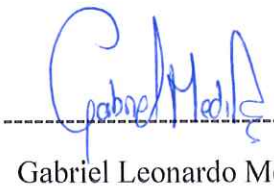
C.C. 1804433108

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 2026.



Gabriel Leonardo Medina Vasco
C.C. 1804433108
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Gabriel Leonardo Medina Vasco, estudiante de la Carrera de Software, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado APLICACIÓN CON ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA SIMULACIÓN DE UNA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (UCI) COMO APOYO AL PROCESO DE ENSEÑANZA EN LA CARRERA DE ENFERMERÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 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 2026.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FRANKLIN OSWALDO MAYORGA MAYORGA

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

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DENNIS VINICIO CHICAIZA CASTILLO

Ing. Dennis Vinicio Chicaiza Castillo, Mg
PROFESOR CALIFICADOR

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
CLAY FERNANDO ALDAS FLORES

Ing. Clay Fernando Aldás Flores, Mg
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios, en primer lugar, por ser la guía constante en mi camino, por darme la fortaleza, la sabiduría y la salud necesarias para superar cada obstáculo y culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis padres, por el apoyo brindado en cada paso de este recorrido. A mi abuela, Ana Milena, por su sabiduría, sus oraciones y por ser un pilar de amor eterno en mi vida. A mi familia en general, quienes de forma incondicional me brindaron su apoyo, su confianza y sus palabras de aliento en los momentos más complejos de este trayecto.

Y de manera muy especial, a mis compañeros de vida, Pipo y Suco, mi perro y mi gato ojalá fueran eternos, pues con su lealtad, silencio y compañía constante supieron hacer más ligeras las largas noches de desvelo y desarrollo.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que me acompañaron a lo largo de este proceso y que contribuyeron de forma significativa a la culminación de esta tesis.

A mis padres, por ser una fuente inagotable de motivación y un ejemplo constante de fortaleza. Su amor, sus sacrificios y su acompañamiento incondicional han sido pilares indispensables para alcanzar cada uno de mis logros, dándome siempre el impulso necesario para seguir adelante.

Al tutor de este proyecto, Ing. Oscar Fernando Ibarra Torres, por su guía experta, su paciencia y sus valiosos aportes académicos. Su acertada orientación fue clave para el desarrollo, fortalecimiento y feliz término de este trabajo de investigación.

A la Dra. Marianela Mejías de Duarte, por compartir sus conocimientos, sus oportunas sugerencias y su constante disposición. Sus aportes enriquecieron considerablemente este estudio, brindándome una retroalimentación fundamental para el avance del proyecto.

A la Universidad Técnica de Ambato, por abrirme sus puertas y ofrecerme un espacio de formación integral. Agradezco los recursos académicos brindados y las experiencias vividas, las cuales han contribuido enormemente a mi crecimiento personal y a mi formación como profesional, permitiéndome reafirmar mi vocación en esta institución.

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 ..... **xvii**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **xxiii**

RESUMEN EJECUTIVO ..... **xxv**

ABSTRACT ..... **xxvi**

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO **1**

1.1 Tema de investigación 1

1.1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Antecedentes investigativos 4

1.3 Fundamentación teórica 10

1.3.1 Ecosistemas de desarrollo para simulación de la sala UCI inmersiva 11

1.3.2 Diseño y modelado de elementos para la fidelidad ambiental en la UCI 12

1.3.3 Desarrollo del entorno inmersivo mediante dispositivos de RV 14

1.3.4 Arquitectura de software para sistemas inmersivos 15

1.3.5 Gestión de bases de datos en entornos de RV 16

1.3.6 Seguridad y protección de datos en entornos de RV 18

1.3.7 Criterios de distribución espacial y ubicación del equipamiento biomédico 20

1.3.8 Validación pedagógica y metodología de evaluación 21

1.4 Objetivos 22

1.4.1 Objetivo general 22

1.4.2 Objetivos específicos 22

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 23

2.1 Materiales 23

2.2 Métodos 24

2.2.1 Modalidad de la investigación 24

2.2.2 Población y muestra 25

2.2.3 Recolección de información 27

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos 36

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 40

3.1 Planificación 40

3.1.1 Diagrama de procesos 41

3.1.2 Requerimientos funcionales y no funcionales 42

3.1.3 Historias de usuario 52

3.1.4 Estimación de historias de usuario 65

3.1.5 Plan de entregas 68

3.1.6 Análisis del entorno de desarrollo considerando los requerimientos funcionales y no funcionales 69

3.2 Diseño 97

3.2.1 Criterios de realismo basados en el entorno hospitalario real 97

3.2.2 Arquitectura del sistema 104

3.2.3 Planificación de componentes técnicos 105

3.2.4 Modelado de comportamiento 110

3.2.5 Diseño de la persistencia de datos 112

3.2.6 Diseño de los elementos del entorno virtual de una unidad de cuidados intensivos 113

3.2.7 Diseño de interfaces (UX/UI) 121

3.2.8 Validación técnica del diseño 128

3.3 Codificación e implementación 131

3.3.1 Codificación del sistema 131

3.3.2 Implementación de funcionalidades 139

3.3.3 Evaluación de usabilidad mediante el cuestionario SUS 158

3.4 Pruebas 168

3.4.1 Pruebas de aceptación funcional 168

3.4.2 Evaluación de la calidad del software 176

3.4.3 Evaluación de expertos del sistema 179

3.4.4 Evaluación del aprendizaje mediante pretest y postest 181

3.5 Implantación 183

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 187

4.1 Conclusiones 187

4.2 Recomendaciones 189

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 191

ANEXOS 194

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métricas de usabilidad y satisfacción de usuarios en entornos de RV..... 8

Tabla 2. Análisis de carga cognitiva 9

Tabla 3. Análisis de tendencia central y distribución porcentual global..... 34

Tabla 4. Entrevista de diagnóstico cualitativo y validación experta 34

Tabla 5. Características de los usuarios 43

Tabla 6. Requisito funcional: Configuración espacial del entorno 3D. 44

Tabla 7. Requisito funcional: Inicio de sesión en VR..... 44

Tabla 8. Requisito funcional: Navegación de acceso..... 45

Tabla 9. Requisito funcional: Desplazamiento libre del usuario. 45

Tabla 10. Requisito funcional: Interacción informativa con equipos. 46

Tabla 11. Requisito funcional: Cierre de sesión y salida en VR..... 46

Tabla 12. Requisito funcional: Registro de usuarios en la web. 47

Tabla 13. Requisito funcional: Gestión de Alumnos. 47

Tabla 14. Requisito funcional: Gestión de salas de simulación..... 48

Tabla 15. Requisito funcional: Gestión de equipos médicos 48

Tabla 16. Requisito funcional: Recuperación de contraseña web..... 49

Tabla 17. Requisito funcional: Cierre de sesión web..... 50

Tabla 18. Requisito no funcional: Seguridad del cifrado..... 50

Tabla 19. Requisito no funcional: Seguridad al acceso 51

Tabla 20. Requisito no funcional: Disponibilidad 51

Tabla 21. Requisito no funcional: Rendimiento visual en RV 51

Tabla 22. Requisito no funcional: Compatibilidad de interfaz 52

Tabla 23. Historia de usuario: Construcción y ensamble del entorno clínico 3D 53

Tabla 24. Historia de usuario: Inicio de sesión 54

Tabla 25. Historia de usuario: Navegación de acceso 55

Tabla 26. Historia de usuario: Desplazamiento libre 56

Tabla 27. Historia de usuario: Interacción informativa con equipos 57

Tabla 28. Historia de usuario: Cierre de sesión en VR 58

Tabla 29. Historia de usuario: Inicio de sesión en plataforma web 59

Tabla 30. Historia de usuario: Registro de nuevos usuarios 60

Tabla 31. Historia de usuario: Gestión de alumnos 61

Tabla 32. Historia de usuario: Gestión de salas 62

Tabla 33. Historia de usuario: Gestión de equipos médicos 63

Tabla 34. Historia de usuario: Recuperación de contraseña 64

Tabla 35. Historia de usuario: Cierre de sesión en la web 65

Tabla 36. Estimación de tiempo detallada para las historias de usuario 66

Tabla 37. Cronograma y plan de entregas del sistema por iteraciones 69

Tabla 38. Matriz comparativa de motores de renderizado 72

Tabla 39. Cuantificación de criterios técnicos para la selección del motor 73

Tabla 40. Matriz comparativa de lenguajes de programación en entornos de realidad virtual 74

Tabla 41. Cuantificación de criterios técnicos para la selección del lenguaje. 76

Tabla 42. Matriz comparativa de visores de realidad virtual 77

Tabla 43. Cuantificación de criterios técnicos para la selección del visor..... 78

Tabla 44. Matriz comparativa de software de diseño y modelado tridimensional..... 79

Tabla 45. Cuantificación de criterios técnicos para la selección del software 3D 81

Tabla 46. Matriz comparativa de arquitecturas para el desarrollo inmersivo 81

Tabla 47. Cuantificación de criterios técnicos para la arquitectura de la sala UCI ... 83

Tabla 48. Matriz comparativa de arquitectura web y gestión administrativa 83

Tabla 49. Cuantificación de criterios técnicos para la arquitectura del sistema de gestión web..... 85

Tabla 50. Matriz comparativa de sistemas de gestión de bases de datos para el sistema web 86

Tabla 51. Cuantificación de criterios técnicos para la selección de la base de datos 87

Tabla 52. Matriz comparativa de lenguajes de programación para el sistema web ... 88

Tabla 53. Cuantificación de criterios técnicos para la selección del lenguaje web ... 89

Tabla 54. Matriz comparativa de frameworks para el ecosistema de gestión web 90

Tabla 55. Cuantificación de criterios técnicos para la selección de frameworks..... 92

Tabla 56. Herramientas seleccionadas para el desarrollo integral 93

Tabla 57. Tarjeta CRC: Control de autenticación y acceso en VR 106

Tabla 58. Tarjeta CRC: Gestión de escenas y carga dinámica 106

Tabla 59. Tarjeta CRC: Control de movimiento en primera persona 107

Tabla 60. Tarjeta CRC: Interacción y despliegue de fichas técnicas 107

Tabla 61. Tarjeta CRC: Controlador global de sesión y autenticación 108

Tabla 62. Tarjeta CRC: Servicio de gestión y reglas de negocio..... 108

Tabla 63. Tarjeta CRC: Interfaz y formulario de registro de cuentas 109

Tabla 64. Tarjeta CRC: Panel de administración y control docente 109

Tabla 65. Matriz de contrastación y porcentaje de fidelidad de los activos biomédicos de sala UCI 129

Tabla 66. Resultados consolidados de la escala (SUS) aplicada a estudiantes de enfermería de la Universidad Técnica de Ambato. 166

Tabla 67. Caso de prueba: Construcción y ensamble del entorno clínico 3D..... 169

Tabla 68. Caso de prueba: Inicio de sesión en Realidad Virtual 169

Tabla 69. Caso de prueba: Navegación de acceso y transición por portales espaciales 170

Tabla 70. Caso de prueba: Control de movimiento y desplazamiento libre en primera persona 170

Tabla 71. Caso de prueba: Interacción informativa y despliegue de fichas técnicas biomédicas..... 171

Tabla 72. Caso de prueba: Cierre de sesión y liberación de procesos en realidad virtual 172

Tabla 73. Caso de prueba: Inicio de sesión en la plataforma web 172

Tabla 74. Caso de prueba: Registro de nuevos usuarios en la plataforma web 173

Tabla 75. Caso de prueba: Gestión y control administrativo de cuentas estudiantiles 173

Tabla 76. Caso de prueba: Gestión de salas de simulación..... 174

Tabla 77. Caso de prueba: Control técnico de equipos en sala UCI 174

Tabla 78. Caso de prueba: Restablecimiento de credenciales web 175

Tabla 79. Caso de prueba: Cierre de sesión web y destrucción de tokens en el cliente 175

Tabla 80. Rúbrica de evaluación pedagógica del simulador UCI 180

Tabla 81. Resultados detallados de la evaluación pedagógica por expertos 180

Tabla 82. Requisitos de hardware y software para la implantación 184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparativa de puntajes de usabilidad (SUS) según la tecnología empleada 10

Figura 2. Cálculo de alfa de Cronbach en estudiantes 28

Figura 3. Percepción sobre la suficiencia del acceso físico a las unidades de cuidados intensivos..... 28

Figura 4. Valoración de la simulación virtual como facilitador de adaptación a la práctica hospitalaria 29

Figura 5. Percepción sobre la dificultad de memorización técnica de equipos médicos mediante clases teóricas 30

Figura 6. Valoración de la utilidad pedagógica de herramientas interactivas para el reconocimiento de equipos clínicos 30

Figura 7. Percepción estudiantil sobre la implementación de tecnologías inmersivas como recurso de apoyo pedagógico 31

Figura 8. Percepción sobre el impacto emocional de la falta de familiarización previa con el entorno UCI 32

Figura 9. Disposición estudiantil hacia el aprendizaje autónomo mediante el uso de entornos virtuales fuera del horario académico 32

Figura 10. Preferencia de aprendizaje mediante representaciones tridimensionales frente a recursos gráficos tradicionales 33

Figura 11. Nube de palabras basada en la relevancia técnica (TF-IDF) extraída de la entrevista a experto 36

Figura 12. Diagrama de procesos: Inspección visual de equipos médicos en laboratorio físico 41

Figura 13. Diagrama de caso de uso plataforma web 94

Figura 14. Diagrama de caso uso plataforma web admin 95

Figura 15. Diagrama de caso de uso realidad virtual 96

Figura 16. Referencia visual de cama clínica para modelado 3D 101

Figura 17. Referencia visual de ventilador mecánico 101

Figura 18. Referencia visual de monitor de signos vitales 102

Figura 19. Referencia visual de bomba de infusión 102

Figura 20. Referencia visual de soporte de sueros 103

Figura 21. Referencia visual de carro de paro 103

Figura 22. Diagrama de arquitectura 104

Figura 23. Diagrama de secuencia registro web 111

Figura 24. Diagrama de secuencia realidad virtual UCI 112

Figura 25. Diseño de la base de datos 113

Figura 26. Diseño de pasillo principal 114

Figura 27. Diseño tridimensional de la cama clínica de cuidados críticos 115

Figura 28. Diseño tridimensional del ventilador mecánico 116

Figura 29. Diseño tridimensional del monitor de signos vitales. 117

Figura 30. Diseño tridimensional de la bomba de infusión 118

Figura 31. Diseño tridimensional del soporte de sueros 118

Figura 32. Diseño tridimensional del carro de paro 119

Figura 33. Diseño de sala UCI 120

Figura 34. Inicio de sesión web 122

Figura 35. Diseño de recuperar contraseña web 123

Figura 36. Diseño de registro usuarios web 124

Figura 37. Diseño de restablecer contraseña 125

Figura 38. Diseño de dashboard web alumnos 126

Figura 39. Diseño de panel de configuración web 126

Figura 40. Diseño de formulario modal de edición de estudiantes 127

Figura 41. Documentación de la API con swagger. 135

Figura 42. Interfaz de inicio de sesión en la plataforma web 140

Figura 43. Interfaz de la plataforma web para la solicitud de restablecimiento de contraseña. 141

Figura 44. Interfaz de la plataforma web para el ingreso y validación de la nueva contraseña de usuario 142

Figura 45. Interfaz de la plataforma web para el registro de usuarios 143

Figura 46. Interfaz de control y listado académico de estudiantes 144

Figura 47. Interfaz del módulo de gestión de salas de simulación 144

Figura 48. Interfaz del panel de administración e inventario de equipos biomédicos 145

Figura 49. Interfaz del módulo de administración con privilegios de edición y control lógico de registros 146

Figura 50. Interfaz inmersiva del simulador en realidad virtual para la autenticación de usuarios. 147

Figura 51. Interfaz del entorno inmersivo correspondiente al pasillo de acceso a la unidad de cuidados intensivos. 148

Figura 52. Interfaz del entorno inmersivo correspondiente a la vista general interna de la unidad de cuidados intensivos. 149

Figura 53. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre la cama hospitalaria de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo. 150

Figura 54. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre el carro de reanimación de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo. 151

Figura 55. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre el monitor de signos vitales de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo..... 152

Figura 56. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre las bombas de infusión de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo.. 153

Figura 57. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre el ventilador mecánico de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo. 154

Figura 58. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre el soporte de equipos de fluido de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo. 155

Figura 59. Interfaz del simulador que ilustra puerta de salida de la sala UCI al pasillo principal..... 156

Figura 60. Interfaz inmersiva del menú de pausa para el control del estado del simulador..... 157

Figura 61. Resultados encuesta SUS pregunta 1..... 160

Figura 62. Resultados encuesta SUS pregunta 2..... 160

Figura 63. Resultados encuesta SUS pregunta 3..... 161

Figura 64. Resultados encuesta SUS pregunta 4..... 162

Figura 65. Resultados encuesta SUS pregunta 5..... 162

Figura 66. Resultados encuesta SUS pregunta 6..... 163

Figura 67. Resultados encuesta SUS pregunta 7 164

Figura 68. Resultados encuesta SUS pregunta 8 164

Figura 69. Resultados encuesta SUS pregunta 9 165

Figura 70. Resultados encuesta SUS pregunta 10 166

Figura 71. Resultados del análisis de calidad de software en SonarQube Cloud para el módulo Hospital-Uta-Backend. 176

Figura 72. Resultados del análisis de calidad de software en SonarQube Cloud para el módulo de la plataforma web Hospital-Uta (Frontend). 178

Figura 73. Resumen de la valoración global de expertos según escala de Likert 181

Figura 74. Evolución del rendimiento académico: Pretest vs postest 183

Figura 75. Diagrama de despliegue y topología de red del ecosistema digital. 186

Figura 76 Archivo package.json con las dependencias de la API REST 200

Figura 77. Archivo de configuración .env de la API REST 201

Figura 78. Seguridad de la API REST 202

Figura 79. Validación de datos de la API REST 203

Figura 80. Envió de correo electrónico 204

Figura 81. Ejemplo de módulo de la API REST 205

Figura 82. Ejemplo de controlador de la API REST 206

Figura 83. Ejemplo de servicio de la API REST 207

Figura 84. Ejemplo de DTO de la API REST 208

Figura 85. Dependencias de la plataforma web 209

Figura 86. Rutas de la plataforma web 210

Figura 87. Script login VR en C#..... 211

Figura 88. Script Interacción equipos biomédicos en C# 212

Figura 89. Script menú pausa en C# 213

Figura 90. Script detector de puerta UCI en C#..... 214

Figura 91. Script de cerrar sesión en C# 215

Figura 92. Capacitación simulador virtual UCI 249

Figura 93. Capacitación de interacción en el simulador UCI 249

Figura 94. Capacitación de desplazamiento en el simulador UCI 250

Figura 95. Capacitación de equipos biomédicos en la sala UCI 250

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Encuesta estudiantil 194

Anexo B. Entrevista a docente 197

Anexo C. Cuestionario de escala de usabilidad del sistema 198

Anexo D. Archivo package.json con las dependencias de la API REST 200

Anexo E. Archivo de configuración .env de la API REST 201

Anexo F. Seguridad de la API REST 202

Anexo G. Validación de datos de la API REST 203

Anexo H. Envió de correo electrónico 204

Anexo I. Ejemplo de módulo de la API REST 205

Anexo J. Ejemplo de controlador de la API REST 206

Anexo K. Ejemplo de servicio de la API REST 207

Anexo L. Ejemplo de DTO de la API REST 208

Anexo M. Dependencias de la plataforma web 209

Anexo N. Rutas de la plataforma web 210

Anexo O. Script login VR en C# 211

Anexo P. Script Interacción equipos biomédicos en C# 212

Anexo Q. Script menú pausa en C# 213

Anexo R. Script detector de puerta UCI en C# 214

Anexo S. Script de cerrar sesión en C# 215

Anexo T. Manual de usuario 216

Anexo U. Manual del sistema 239

Anexo V. Instrumento de validación pedagógica por expertos 244

Anexo W. Instrumento de evaluación de aprendizaje (Pretest - Postest) 246

Anexo X. Evidencias de pruebas con estudiantes 249

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación implanta un entorno virtual inmersivo basado en Realidad Virtual para la simulación y reconocimiento de una Unidad de Cuidados Intensivos, destinado a los estudiantes de la carrera de Enfermería de la Universidad Técnica de Ambato. La problemática radica en la limitada disponibilidad física de laboratorios especializados, lo cual restringe la familiarización técnica previa del alumnado con los equipos médicos. Metodológicamente, la investigación adopta un enfoque cuantitativo y cualitativo, bajo una modalidad aplicada y de campo, mediante la recolección de datos primarios en la Facultad de Ciencias de la Salud para coordinar la construcción de un ecosistema digital mediante el marco ágil Extreme Programming (XP). El sistema comprende una plataforma web de gestión en React, un servidor en NestJS con PostgreSQL y un simulador interactivo tridimensional codificado en Unity y C# para el hardware autónomo Meta Quest 3. Los resultados demuestran un nivel del 100% de fidelidad gráfica y morfológica en el modelado de los 25 activos biomédicos esenciales validados por juicio de expertos. Adicionalmente, la evaluación de usabilidad mediante la escala estandarizada SUS aplicada a los estudiantes refleja un índice de aceptación sobresaliente, donde 9 de cada 10 usuarios ratifican la facilidad de aprendizaje y consistencia del entorno inalámbrico. Se concluye que el simulador interactivo elimina los mareos por retraso en la imagen, reduce la improvisación visual y provee una herramienta didáctica funcional que dota al estudiante de confianza para una óptima inserción en la práctica clínica real.

Palabras Clave: Realidad virtual, activos biomédicos, gafas Meta Quest 3, Unity, C#, Extreme Programming, usabilidad SUS.

ABSTRACT

The present research project implements an immersive virtual environment based on Virtual Reality for the simulation and recognition of an Intensive Care Unit, aimed at Nursing students from the Universidad Técnica de Ambato. The problem lies in the limited physical availability of specialized laboratories, which restricts students' prior technical familiarization with medical equipment. Methodologically, the research adopts a quantitative and qualitative approach, under an applied and field modality, collecting primary data at the Faculty of Health Sciences to coordinate the construction of a digital ecosystem through the Extreme Programming (XP) agile framework. The system comprises a web management platform in React, a server in NestJS with PostgreSQL, and a three-dimensional interactive simulator coded in Unity and C# for Meta Quest 3 standalone hardware. The results demonstrate a 100% level of graphical and morphological fidelity in the modeling of the 25 essential biomedical assets validated by expert judgment. Additionally, the usability evaluation using the standardized SUS scale applied to students reflects an outstanding acceptance index, where 9 out of 10 users confirm the ease of learning and consistency of the wireless environment. It is concluded that the interactive simulator eliminates motion sickness caused by image lag, reduces visual improvisation, and provides a functional educational tool that endows students with confidence for optimal placement in real clinical practice.

Keywords: Virtual reality, biomedical assets, Meta Quest 3 glasses, Unity, C#, Extreme Programming, SUS usability.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

APLICACIÓN CON ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA SIMULACIÓN DE UNA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (UCI) COMO APOYO AL PROCESO DE ENSEÑANZA EN LA CARRERA DE ENFERMERÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

1.1.1 Planteamiento del problema

Tradicionalmente, la instrucción en ciencias de la salud se ha cimentado en un modelo pedagógico de presencialidad absoluta y exposición clínica directa. A pesar de esto, este paradigma muestra grietas ante la sofisticación técnica que hoy exigen las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), espacios donde ignorar la ubicación exacta de un equipo o su estructura operativa compromete directamente la vida del paciente. Según se desglosa en [1], las universidades lidian actualmente con la presión de optimizar el aprendizaje bajo criterios de costo-efectividad, especialmente cuando se evidencia que el desconocimiento del entorno físico-técnico subyace en el 70% de los incidentes adversos en áreas críticas. Semejante estadística no representa solo un dato, es una exigencia académica para desarrollar filtros tecnológicos que contengan el error humano antes de que el estudiante se enfrente a un escenario real.

Bajo esta premisa, la urgencia de tales medidas se fundamenta en lo expuesto por [2], quienes señalan que la seguridad del paciente es un desafío global crítico. Se estima que uno de cada diez pacientes sufre daños durante la atención, resultando en más de tres millones de muertes prevenibles anualmente. En contextos de ingresos medios y bajos, la estadística revela que cuatro de cada cien personas fallecen debido a eventos adversos, frecuentemente originados por errores diagnósticos, fallas en la medicación o el manejo inadecuado de dispositivos médicos. Por lo tanto, establecer entornos controlados que permitan desarrollar competencias técnicas antes del contacto clínico se considera una prioridad de salud pública. A pesar de la importancia de la formación en entornos críticos, la implementación de laboratorios de simulación física de alta

fidelidad enfrenta barreras económicas que resultan insalvables para instituciones públicas. En la investigación de [1] se destaca que configurar una sala UCI de simulación física puede superar los $850,000 USD, con costos operativos de mantenimiento que oscilan entre los $200 y $300 USD por hora de instrucción. Ante este escenario, resulta imperativo transicionar hacia modelos de simulación digital que aseguren la sostenibilidad financiera. La literatura sugiere que el uso de herramientas virtuales permite reducir estos costos operativos hasta en un 90%, ofreciendo una plataforma escalable frente a la inversión prohibitiva de la simulación física de alta gama.

En paralelo a las limitaciones económicas, la simulación clínica tradicional enfrenta un desafío crítico de escalabilidad. Según se describe en [3], en las sesiones presenciales convencionales se registra una brecha de participación donde solo el 15% de los estudiantes interactúa activamente con la sala y sus equipos, mientras el 85% restante actúa como observador pasivo debido a la limitación de equipos. En contraste, la integración de la Realidad Virtual (RV) permite que hasta el 95% de la cohorte se involucre simultáneamente en experiencias inmersivas. Esta diferencia del 80% en la tasa de participación activa justifica técnicamente la migración hacia entornos virtuales para eliminar la ineficiencia educativa en laboratorios físicos saturados.

Aunado a lo anterior, la efectividad pedagógica de las tecnologías inmersivas ha sido validada mediante métricas de rendimiento que demuestran resultados superiores en la curva de aprendizaje inicial. En [3] y [4] se resalta que la RV fomenta un sentimiento de presencia visceral que eleva la retención de conocimientos a largo plazo hasta en un 75%, comparado con el 10% obtenido mediante métodos de lectura o clases magistrales. Los visores de alta resolución permiten al estudiante realizar una inmersión total en la Sala UCI, familiarizándose con la interfaz de la monitorización hemodinámica y la disposición espacial del equipo médico en un entorno donde el margen de error es del 0%. Esto consolida a la RV como una plataforma eficiente para la enseñanza de situaciones de alta complejidad clínica.

No obstante, más allá de las limitaciones logísticas, el problema central radica en el incumplimiento de los estándares internacionales de seguridad en la formación procedimental. La normativa educativa contemporánea, alineada con los estándares de

la INACSL, exige que el personal en formación alcance un nivel de competencia técnica "automatizado" antes de intervenir en entornos de alto estrés asistencial. Sin embargo, la ausencia de métricas de calidad de software basadas en la norma ISO/IEC 25010 en las herramientas actuales impide asegurar que el alumnado logre la familiarización espacial necesaria. Esta carencia de exposición repetitiva a la arquitectura operativa de una UCI se traduce en una curva de aprendizaje deficiente, donde el estudiante llega al hospital real con una autoconfianza frágil y una alta susceptibilidad al error por desconocimiento del flujo operativo.

La problemática de seguridad se intensifica al considerar que el riesgo no reside únicamente en la falta de pericia clínica, sino en la presencia de amenazas de seguridad latentes dentro de los procesos y el diseño del entorno hospitalario. Según reportan [5], deficiencias en la planificación de la Sala UCI y sus flujos operativos pueden comprometer la estabilidad de individuos altamente inestables . La simulación debe emplearse para realizar pruebas de sistemas clínicos que permitan "blindar" los procesos contra errores antes de que alcancen al paciente real. En consecuencia, la carencia de herramientas virtuales que permitan modelar estos sistemas complejos bajo un enfoque centrado en el usuario impide identificar fallas organizacionales de alta demanda logística.

A este escenario de complejidad sistémica se suma el desafío de garantizar la excelencia y la objetividad en la formación, conforme a los pilares de las mejores prácticas de simulación en salud. Según fundamenta el [6], la simulación de alta calidad debe integrarse sobre una base científica que garantice la integridad profesional, el prebriefing estructurado y una facilitación consistente que optimice los resultados de aprendizaje. Sin embargo, la dependencia de métodos tradicionales sin herramientas de evaluación válidas e imparciales puede derivar en disparidades educativas y valoraciones subjetivas del desempeño. Esta variabilidad en el juicio humano, sumada a la falta de tecnologías que permitan un análisis reproducible y riguroso, impide asegurar que cada estudiante alcance las competencias de seguridad y pericia técnica requeridas en entornos críticos. En consecuencia, mientras no se disponga de plataformas que estandaricen la evaluación y el reconocimiento del entorno físico de la UCI, la formación clínica seguirá siendo vulnerable a la subjetividad y a la persistencia de riesgos latentes en el cuidado del paciente.

Esta problemática global y sistémica se manifiesta de manera concreta en la Carrera de Enfermería de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Técnica de Ambato (UTA). Actualmente, el proceso de formación académica enfrenta limitaciones críticas debido a la carencia de laboratorios de simulación física que repliquen integralmente una UCI. La institución no dispone de escenarios equipados con la infraestructura técnica ni con la cantidad suficiente de activos para cubrir la demanda de la cohorte estudiantil.

En la UTA, la brecha pedagógica se intensifica por la falta de un entorno de simulación física de alta fidelidad que replique con exactitud la disposición espacial y la complejidad técnica de una UCI local. Esto genera que el alumno inicie sus prácticas hospitalarias con un desconocimiento crítico del flujo operativo y la ubicación de los activos clínicos lo que deriva en cuadros de estrés académico y una autoconfianza frágil que eleva el riesgo de incidentes adversos.

Por consiguiente, existe una necesidad imperiosa en la Facultad de Ciencias de la Salud de implementar una solución tecnológica inmersiva que estandarice el reconocimiento del entorno físico-técnico. La ausencia de un simulador virtual desarrollado bajo estándares de calidad y centrado en la realidad hospitalaria de la región impide que el estudiante de la UTA alcance el nivel de competencia "automatizado" exigido por las normas internacionales de seguridad del paciente, antes de su interacción con individuos en estado crítico.

1.2 Antecedentes investigativos

El desempeño del personal de enfermería en las salas UCI demanda una preparación técnica de alto nivel impuesta por el rigor de los pacientes que allí se asisten. Como se analiza en [7], la eficiencia del cuidado intensivo guarda una relación proporcional con el nivel de formación académica y la experiencia clínica, factores que inciden directamente en la mitigación de riesgos y la efectividad terapéutica. Debido a la sofisticación de los protocolos en la UCI, se exige un dominio avanzado de competencias técnicas y una capacidad resolutiva bajo presión, donde el pensamiento crítico se constituye como la facultad esencial para gestionar cuadros clínicos inestables. De igual manera, el uso preciso del aparataje tecnológico biomédico se

identifica como un pilar del desempeño profesional, lo que justifica la implementación de modelos formativos estructurados que permitan integrar efectivamente el conocimiento teórico con la praxis hospitalaria cotidiana mediante el entrenamiento permanente.

La literatura especializada en [8] destaca que la educación continua no solo facilita la actualización ante constantes innovaciones tecnológicas, sino que reduce significativamente la incidencia de eventos adversos y errores clínicos. Estudios previos sugieren que el reconocimiento anticipado de la infraestructura y el flujo de trabajo en la UCI garantiza una transición estudiantil menos traumática, pues la familiarización con el entorno disminuye los índices de ansiedad y estrés en el personal en formación. Un profesional que conoce previamente su espacio de trabajo muestra mayor autoconfianza y una capacidad de respuesta más ágil ante emergencias, favoreciendo una mejor comprensión espacial y funcional del área crítica. En este contexto, la simulación clínica se ha consolidado como una estrategia pedagógica fundamental que, según [9], permite recrear escenarios de alta fidelidad en entornos controlados, facilitando el aprendizaje experiencial y la aplicación práctica del conocimiento teórico antes del contacto directo con pacientes reales.

Investigaciones complementarias detalladas en [8] demuestran que la simulación realista potencia el rendimiento profesional al permitir que el alumno cometa errores y los corrija mediante el debriefing en un ambiente seguro, estimulando así un aprendizaje reflexivo. En el contexto de la evaluación del paciente crítico, la simulación actúa como un mediador pedagógico bajo el modelo Histórico-Cultural. De hecho en [10] se evidencia que esta técnica facilita la transferencia de conceptos abstractos a la práctica física, mejorando la priorización de cuidados y la ejecución de funciones cognitivas de alto nivel. La evolución de la tecnología ha permitido que la RV supere las limitaciones de la simulación tradicional, incrementando la fidelidad de los escenarios y promoviendo una comprensión profunda de procedimientos complejos. Como indica [10], la interactividad de la RV asegura una retención de conocimiento más prolongada y un compromiso superior con el proceso de aprendizaje significativo.

Bajo una óptica global, en [11] se reconoce a la RV como una herramienta disruptiva en la formación sanitaria, cuya capacidad para replicar escenarios poco frecuentes de forma segura es una de sus mayores virtudes. No obstante, se advierte que la sostenibilidad de estos proyectos depende de una correcta integración curricular y de la gestión eficiente de los costos de implementación. En regiones con recursos limitados, estudios como el de [12] proponen a la RV y la Realidad Aumentada (RA) como medios para democratizar la educación especializada, reduciendo la dependencia de infraestructuras físicas costosas y contribuyendo a cerrar la brecha formativa a escala mundial. Sin embargo, en [13] se aclara que el éxito de estas tecnologías emergentes está condicionado por factores humanos y organizacionales, identificándose variables críticas como la aceptación del usuario y la necesidad de que la gestión institucional provea el soporte técnico necesario para evitar barreras en el aprendizaje.

El impacto cuantitativo de los simuladores virtuales en el pensamiento crítico es notable, puesto que en [14] se ha reportado que la exposición repetitiva a estos entornos fortalece la capacidad de toma de decisiones en enfermeros novatos al permitirles ensayar protocolos de emergencia de manera ilimitada. A través de diversos ensayos experimentales, en [15] se ha validado que el uso de software de simulación reduce los tiempos de respuesta ante crisis clínicas, aumentando la seguridad percibida por el estudiante al tomar decisiones críticas. En cuanto a la psicología del aprendizaje, [16] demuestra que la RV inmersiva genera estados de flujo cognitivo y mayor concentración en comparación con pantallas convencionales, eliminando distracciones externas y facilitando la comprensión de la dinámica hospitalaria. Este compromiso emocional con la tarea es clave para el aprendizaje, proyectando que la educación sanitaria tenderá hacia entornos cada vez más hiperrealistas que superen los límites de los laboratorios físicos [17].

Por otro lado, en [18] se examinan los desafíos de usabilidad que podrían frenar la adopción de la RV, resaltando la necesidad de diseñar interfaces intuitivas y establecer protocolos de validación técnica que garanticen que el simulador cumpla con los objetivos pedagógicos. Revisiones metodológicas de alto nivel, como la presentada en [19], confirman una tendencia positiva en la adquisición de competencias mediante tecnologías XR, aunque se enfatiza la necesidad de producir mayor evidencia científica

contextualizada. En meta-análisis como el de [20], se han evaluado programas de RV en profesionales en ejercicio, reportando mejoras en la autoeficacia y en la precisión procedimental. Estos hallazgos refuerzan la idea de que la tecnología inmersiva es un complemento potente que potencia las bases técnicas, marcando el inicio de una era donde el entrenamiento simulado es un requisito ético y una evolución necesaria de la simulación tradicional hacia la virtualidad [21].

La transición al mundo profesional representa una de las etapas más críticas para el enfermero recién graduado, quien a menudo enfrenta el denominado "shock de realidad", caracterizado por estrés laboral y sentimientos de incompetencia ante responsabilidades reales. Para mitigar este riesgo, en [22] se propone la familiarización temprana mediante entornos simulados y programas de orientación inmersiva que faciliten la adaptación al rol profesional, especialmente en áreas de alta complejidad como la UCI. Al respecto, las evidencias empíricas en [23] ratifican que los estudiantes que participan en programas de simulación inmersiva muestran mejoras significativas en su nivel de confianza y un desempeño clínico superior en entornos reales. Esta preparación integral no solo facilita la transición asistencial, sino que incide directamente en los indicadores de calidad del servicio, los cuales dependen de múltiples variables académicas y actitudinales.

La viabilidad de estas herramientas tecnológicas en enfermería depende estrechamente de su facilidad de uso y la percepción del estudiante. Según se analiza en [9], la usabilidad de los entornos virtuales inmersivos ha alcanzado niveles de aceptabilidad satisfactorios, con puntajes superiores a 75 en la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS). No obstante, los hallazgos sugieren que, aunque la tecnología facilita un aprendizaje autónomo y seguro, la experiencia inicial puede presentar una curva de aprendizaje compleja debido a la navegación en el entorno virtual. Por consiguiente, se subraya la necesidad de implementar programas de inducción técnica y una sólida estructura pedagógica que alinee las simulaciones con los resultados de aprendizaje esperados, garantizando que la carga cognitiva no interfiera en la adquisición de competencias clínicas esenciales.

En la Tabla 1 se sintetizan los indicadores métricos que validan la calidad y aceptación de los sistemas de Realidad Virtual en la formación clínica. Estos datos, obtenidos

mediante instrumentos estandarizados de la industria del software, permiten cuantificar la relación entre la arquitectura del entorno virtual y la respuesta operativa del usuario final.

Tabla 1. Métricas de usabilidad y satisfacción de usuarios en entornos de RV

Indicador de evaluación	Resultado
Puntaje SUS (System Usability Scale)	75.87%
Satisfacción General	97.6%
Seguridad Percibida	100%
Facibilidad de Navegación	70.0%

El despliegue de soluciones inmersivas no solo debe ser efectivo, sino también accesible desde el punto de vista económico para las instituciones educativas. En este sentido, en [23] documentaron en 2025 la implementación de un simulador de bajo costo basado en entornos de 360 grados, diseñado específicamente para recrear una UCI con equipamiento médico realista.

Tras evaluar la experiencia de 42 estudiantes de enfermería, los hallazgos revelaron una percepción altamente positiva sobre la utilidad pedagógica, con un compromiso de usuario de 3.96 sobre 5. Sin embargo, el estudio sacó a la luz un fenómeno crítico: la demanda mental moderada y ciertos niveles de frustración (4.00 en la escala NASA-TLX) provocados por la complejidad del caso clínico y fallos técnicos puntuales. Estos resultados sugieren que, si bien la virtualidad democratiza el acceso a la formación especializada, el éxito de la herramienta está condicionado a una estabilidad técnica impecable para no saturar la capacidad cognitiva del alumno durante el entrenamiento crítico.

En la Tabla 2 se exponen los resultados de las métricas de carga cognitiva y compromiso del usuario, herramientas fundamentales para determinar si la arquitectura del software facilita o entorpece el proceso de aprendizaje en entornos críticos. Al cuantificar el esfuerzo mental, es posible identificar si la complejidad del simulador está alineada con la capacidad operativa del estudiante de enfermería.

Tabla 2. Análisis de carga cognitiva

Instrumento	Indicador	Resultado
UES-SF	Compromiso	3.96 / 5.0
NASA-TLX	Demanda Mental	4.00 / 7.0
SART	Nivel de Concentración	5.00 / 7.0
SUS	Usabilidad Percibida	70.8 / 100

La evolución de las interfaces inmersivas ha permitido explorar dimensiones del aprendizaje que antes eran invisibles, como la observación de estructuras anatómicas internas durante la ejecución de procedimientos invasivos. En este ámbito, en [24] se documentó en 2024 el desarrollo de una aplicación de RA para dispositivos Microsoft HoloLens, centrada en el entrenamiento de técnicas críticas como la intubación endotraqueal y la aspiración por traqueostomía.

Tras evaluar a una cohorte de 61 estudiantes, se obtuvo un puntaje SUS promedio de 73.15, lo que ratifica una usabilidad sólida en sistemas de alta gama. Resulta relevante que más del 90% de los participantes reportó una mejora en la comprensión anatómica y la retención de contenidos, sugiriendo que la integración de elementos visuales tridimensionales no solo optimiza la destreza técnica, sino que actúa como un catalizador de la motivación cognitiva en el proceso de formación académica de pregrado.

Esta metodología facilita una inmersión profunda en la configuración física de una Unidad de Cuidados Intensivos, permitiendo que el alumno reconozca de manera intuitiva la disposición del mobiliario crítico, la ubicación estratégica de los monitores de signos vitales y la estructura de los equipos de soporte ventilatorio. Al eliminar las barreras de la imaginación abstracta, la tecnología asegura que el estudiante desarrolle una cartografía mental precisa del área crítica, optimizando la recepción de conceptos espaciales y la identificación inmediata de objetos biomédicos esenciales para la atención del paciente inestable. Esta familiarización previa con el entorno físico-técnico es determinante para reducir el impacto del estrés ambiental y mejorar la eficiencia operativa antes de que el profesional se enfrente a la complejidad logística de una sala UCI real.

En la Figura 1. Comparativa de puntajes de usabilidad (SUS) según la tecnología empleada se consolidan los resultados métricos de usabilidad obtenidos tras la evaluación de las tres arquitecturas inmersivas analizadas: RV 360, Realidad Aumentada y RV Inmersiva. Esta representación visual de los puntajes SUS permite cuantificar la relación entre la tecnología empleada y la percepción de facilidad de uso del estudiante, sirviendo como un referente técnico para las decisiones de diseño del software de simulación para UCI propuesto en este trabajo.

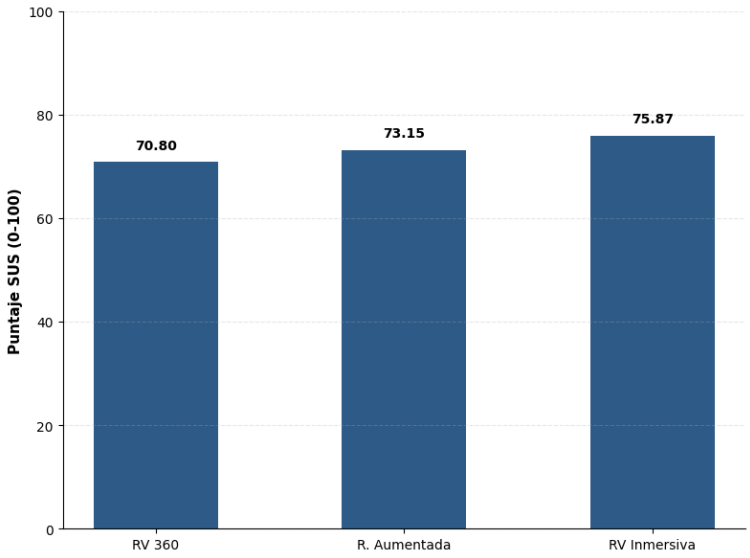


Figura 1. Comparativa de puntajes de usabilidad (SUS) según la tecnología empleada

1.3 Fundamentación teórica

Esta investigación analiza los fundamentos científicos y los conceptos esenciales que respaldan el uso de RV como un recurso transformador en la capacitación de enfermería para áreas críticas. El desarrollo de esta propuesta se basa en la convergencia entre el diseño de arquitecturas digitales y los marcos pedagógicos que rigen la formación en salud. En este contexto, la tecnología se emplea como un facilitador para que el estudiante logre una comprensión profunda de la sala UCI, permitiendo la transferencia de conocimientos teóricos hacia un reconocimiento preciso del espacio hospitalario.

1.3.1 Ecosistemas de desarrollo para simulación de la sala UCI inmersiva

El análisis de las plataformas de desarrollo constituye el primer paso crítico para garantizar que el entorno virtual de la UCI cumpla con los requerimientos pedagógicos de la carrera de Enfermería. Según [25], la selección de un motor gráfico no solo define la calidad visual, sino que determina la capacidad del sistema para integrar dinámicas de aprendizaje que mejoren la toma de decisiones y la retención de conocimientos en el estudiante.

a. Motores de renderizado y entornos de desarrollo

La elección del motor de videojuegos es fundamental para recrear la complejidad de una sala crítica con alta fidelidad ambiental. En la actualidad, el mercado ofrece soluciones que varían en potencia gráfica y facilidad de despliegue.

- **Unity 3D:** Además de su liderazgo en proyectos de enfermería, funciona como un motor profesional multiplataforma que integra herramientas avanzadas de renderizado, scripting y control de escenas. Esta plataforma permite a los equipos de desarrollo operar experiencias interactivas mediante un conjunto de herramientas probado en producción, lo que garantiza la estabilidad necesaria para entornos educativos clínicos. Según [25], su versatilidad y amplia documentación técnica lo convierten en la opción predominante para simulaciones de enfermería que requieren una integración fluida con diversos visores de RV.

- **Unreal Engine 5:** La versión más reciente de este motor incluye funciones de XR, definida como una "tecnología que combina experiencias del mundo real con interfaces virtuales 3D para tecnologías vestibles" según describe [26]. Aunque ofrece una alta fidelidad visual, el autor señala que es un software "de código disponible" pero no necesariamente cumple con todos los criterios de "código abierto" convencional, lo que puede elevar la complejidad técnica en entornos académicos.

- **Godot Engine:** Se presenta como un "motor de juego moderno que proporciona características como renderizado 2D y 3D, soporte de plataforma

y un entorno de desarrollo común". Como menciona [26], este software es "libre y de código abierto, lanzado bajo la permisiva Licencia MIT", eliminando barreras de costo para simulaciones clínicas.

b. Motores basados en JavaScript

Estas tecnologías facilitan el acceso a la simulación mediante navegadores web, optimizando la distribución del contenido educativo

- **Three.js:** Definido por [26] como una "biblioteca de JavaScript para crear gráficos 3D de forma intuitiva", permite que los usuarios puedan "crear y animar escenas 3D directamente en el navegador, aprovechando al máximo WebGL".

- **Babylon.js:** Es un "framework de JavaScript basado en TypeScript que permite la creación de aplicaciones 3D completas y videojuegos 3D basados en la web". Según [26] se caracteriza por ser un "marco fácil de usar que solo requiere unas pocas líneas de código para configurar estas funciones".

- **Amazon Sumerian (AS):** Esta herramienta ofrecida por Amazon Web Services (AWS) "permite a los usuarios crear y compartir escenas de RA y RV utilizando URL que son alcanzables desde las versiones más recientes de Chrome o Firefox". [26] resaltan que "soporta los visores de realidad virtual más populares disponibles hoy en día", lo que facilita la distribución masiva de la sala UCI virtual. Diseño y Modelado de Entornos Hospitalarios de Alta Fidelidad

1.3.2 Diseño y modelado de elementos para la fidelidad ambiental en la UCI

El diseño de los componentes de la sala virtual constituye el paso fundamental para que el estudiante de Enfermería logre una inmersión efectiva en el entorno de trabajo real. Según [27], la incorporación de tecnologías de Realidad Extendida en la educación de la UCI enriquece la experiencia práctica al ofrecer un entorno realista que permite a los estudiantes ensayar habilidades y refinar sus capacidades en un ambiente libre de riesgos. El objetivo primordial es que el diseño permita al alumno

interactuar con el equipo médico de manera segura, cerrando la brecha entre la teoría académica y la complejidad de la atención al paciente crítico.

a. Criterios de fidelidad ambiental y realismo clínico

Para que la simulación sea pedagógicamente útil, cada elemento debe ser diseñado bajo estrictos principios de replicación física y funcional.

- **Simulación de escenarios reales:** El diseño de la sala debe basarse en el establecimiento de escenarios de la vida donde los estudiantes utilicen la visualización de pacientes estandarizados para identificar síntomas y responder a cambios clínicos.

- **Fidelidad de los equipos biomédicos:** La creación de modelos 3D debe permitir la operación competente de dispositivos esenciales, incluyendo ventiladores mecánicos, monitores cardíacos y sistemas de hemodiálisis, los cuales son parte del "arsenal de habilidades" que un enfermero de UCI debe poseer.

- **Presencia física y percepción:** Un diseño de alta calidad logra que los estudiantes se sientan "físicamente presentes" en el entorno de la UCI, lo cual es fundamental para mejorar la satisfacción del aprendizaje y la confianza del usuario.

b. Modelado para la interacción y usabilidad

La efectividad del diseño no solo reside en la estética, sino en la facilidad con la que el estudiante interactúa con los activos digitales.

- **Evaluación de usabilidad:** El diseño de los elementos debe ser validado mediante la Escala de Usabilidad del Sistema, donde puntuaciones superiores al promedio indican que la interfaz y los modelos 3D facilitan el aprendizaje sin generar frustración técnica.

- **Asistencia informativa de activos clínicos:** Los elementos diseñados deben permitir la superposición de etiquetas holográficas o descripciones visuales que proporcionen al estudiante el nombre técnico y la función específica de cada

equipo. Este sistema de anotación de modelos interactivos ayuda a los estudiantes de enfermería a comprender mejor los componentes del entorno de la UCI, facilitando la identificación de dispositivos críticos

- **Reducción de barreras técnicas:** Durante la fase de modelado, se deben considerar factores como la fluidez y la compatibilidad del dispositivo para evitar problemas de fatiga ocular o retrasos en la respuesta, garantizando una experiencia de aprendizaje fluida y oportuna.

1.3.3 Desarrollo del entorno inmersivo mediante dispositivos de RV

El desarrollo del entorno virtual representa la fase donde se integran los modelos 3D con la lógica de programación para permitir la interacción del usuario. Según [28], un motor de Realidad Extendida (XR) funciona como una pieza de código independiente que encapsula la lógica necesaria para incorporar objetos, imágenes y contenido aumentado en diversos ambientes. Para la carrera de Enfermería de la UTA, esta implementación busca que el estudiante no solo observe la sala, sino que se familiarice técnicamente con ella a través de dispositivos de visualización inmersiva.

a. Integración de hardware y visualización inmersiva

La elección del dispositivo de visualización es crítica para asegurar que el desarrollo cumpla con los estándares de rendimiento y comodidad del estudiante.

- **Uso de Head-mounted displays:** Los visores como el Microsoft HoloLens o las Meta Quest son las herramientas más prevalentes en la educación de enfermería, permitiendo ver hologramas de alta definición en el espacio de aprendizaje como se detalló en [28] .

- **Realismo y presencia:** El uso de programas basados en entornos virtuales de 360 grados ha demostrado ser una estrategia efectiva para aumentar la inmersión en el aprendizaje y la percepción de presencia en áreas críticas. Conforme se describe en [28], estas tecnologías inmersivas basadas en el aprendizaje experiencial promueven la participación activa y mejoran

significativamente la retención del conocimiento y las competencias clínicas de los estudiantes de la era digital.

- **Portabilidad y accesibilidad:** El desarrollo de aplicaciones XR debe considerar la compatibilidad con diversos dispositivos para facilitar la difusión masiva del contenido didáctico en entornos universitarios. Tal como se planteó en [28], la flexibilidad del software debe adaptarse a las necesidades de la "Generación Z", quienes muestran una preferencia crítica por los métodos de aprendizaje interactivos y basados en tecnología por encima de la instrucción textual tradicional. Interacción Técnica y Asistencia Visual Informativa

1.3.4 Arquitectura de software para sistemas inmersivos

La arquitectura de software en un entorno de Realidad Virtual define cómo se organizan los componentes para gestionar el renderizado gráfico, la lógica de interacción y el flujo de datos. Para la formación en enfermería de la UTA, es vital una arquitectura que garantice alta fidelidad visual sin comprometer la fluidez del sistema.

a. Arquitectura basada en componente

Es la estructura estándar empleada por motores como Unity 3D. En este modelo, la Sala UCI se descompone en entidades individuales (entidades) a las que se les asignan comportamientos específicos (componentes).

- **Modularidad:** Permite diseñar cada equipo médico (ventilador, monitor, cama) como un objeto independiente con sus propias etiquetas informativas. Como se vio en el diseño del marco de pruebas EAT (Entity, Action, Task) de VRExplorer en [29], la abstracción basada en programación orientada a objetos permite encapsular propiedades y comportamientos interactivos complejos dentro de los mismos scripts heredados de MonoBehaviour, garantizando la modularidad del entorno.

- **Escalabilidad:** Facilita la adición de nuevos instrumentos clínicos a la sala sin necesidad de reestructurar todo el código del sistema. De acuerdo con lo planteado en [29], este enfoque basado en componentes permite la

composición flexible de interfaces sin alterar la jerarquía base del simulador, lo que simplifica la extensión y el mantenimiento del software ante nuevos requerimientos.

- **Cliente:** Se ejecuta directamente en el visor Meta Quest 3S. Su función principal es el renderizado de gráficos 3D en tiempo real y la detección de colisiones. Al ser el "cliente", solicita información técnica a la base de datos únicamente cuando el estudiante se aproxima a un equipo médico, optimizando el uso de la memoria RAM del dispositivo. Conforme se detalla en el modelo de exploración de [29], la navegación del cliente puede ser asistida mediante la integración de componentes de navegación sobre mallas dinámicas (NavMesh), permitiendo que el agente detecte colisiones y ejecute decisiones de proximidad de forma autónoma.

- **Back-end:** Es el cerebro que reside en la nube o en un servidor local. Administra las peticiones del visor a través de protocolos como HTTP o WebSockets. Su rol es validar la identidad del estudiante de la UTA y asegurar que la información técnica (nombres y funciones de las máquinas) se entregue de forma íntegra y rápida. Según el flujo de control secuencial analizado en [29], el backend regula el estado de las tareas complejas de la simulación mediante transiciones de estados estructuradas, sincronizando los datos persistentes con la actividad interactiva del cliente en tiempo real.

1.3.5 Gestión de bases de datos en entornos de RV

La integración de Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD) en entornos de Realidad Virtual constituye el núcleo de la persistencia y la capacidad informativa del sistema. Estas tecnologías permiten que la simulación trascienda de una experiencia puramente visual a un sistema inteligente capaz de almacenar la información técnica de los equipos y registrar cada actividad del usuario. Según [30], los gestores de datos son esenciales para administrar la complejidad de las interacciones, mantener los estados del mundo virtual y rastrear la ubicación en tiempo real de los estudiantes dentro del escenario.

a. Sistemas de gestión de bases de datos relacionales

La arquitectura relacional fundamenta la organización de datos mediante estructuras de tablas vinculadas, asegurando que los activos clínicos de la sala UCI mantengan una integridad referencial estricta. Como se vio en el estudio de arquitectura en [30], los sistemas relacionales son el estándar de oro de la industria debido a su estricto cumplimiento de las propiedades ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability), garantizando una consistencia transaccional absoluta y la mitigación de fallos en entornos concurrentes.

- **MySQL:** Destaca por su alta velocidad de lectura y versatilidad, siendo el estándar para gestionar catálogos de equipos médicos y perfiles de usuario en aplicaciones inmersivas multiplataforma.

- **PostgreSQL:** Ofrece capacidades avanzadas para el manejo de objetos complejos y consultas personalizadas. Su robustez es ideal para sistemas que requieren un control detallado de las métricas de desempeño de enfermería. Según lo planteado en [30], este motor proporciona un soporte excepcional para esquemas estructurados avanzados, permitiendo aislar contextos de datos y optimizar consultas indexadas de alta fidelidad.

- **Microsoft SQL Server:** Proporciona un entorno de nivel empresarial con alta escalabilidad, facilitando la integración de la simulación con los sistemas de gestión académica preexistentes en las instituciones.

- **Oracle DataBase:** Se caracteriza por su capacidad de procesamiento masivo y seguridad de nivel gubernamental, permitiendo gestionar simulaciones de alta fidelidad con miles de variables técnicas simultáneas sin pérdida de rendimiento.

b. Sistemas de gestión de bases de datos no relacionales

Los modelos no relacionales son vitales para el manejo de datos no estructurados y la escalabilidad horizontal requerida en sesiones de entrenamiento concurrentes. Conforme se describe en el enfoque de persistencia de [30], el almacenamiento NoSQL prioriza la flexibilidad del esquema y el escalamiento horizontal, permitiendo

capturar datos heterogéneos y dinámicos que un motor relacional rígido ralentizaría o rechazaría debido a las restricciones de tablas predefinidas.

MongoDB: Almacena información en documentos flexibles (JSON/BSON), permitiendo que el sistema registre trayectorias de movimiento y secuencias de interacción dinámicas sin las restricciones de un esquema rígido. Tal como se demostró en [30], su arquitectura orientada a documentos es idónea para procesar flujos de datos asíncronos y velocidad masiva de variables, adaptándose síncronamente a los cambios en la estructura de los datos sin requerir tiempos de inactividad o migraciones complejas.

Firebase realtime database: Esta solución en la nube garantiza una sincronización instantánea entre el servidor y el visor de RV. Es la tecnología clave para que el sistema actualice los estados del mobiliario clínico en tiempo real mientras el estudiante explora la sala.

1.3.6 Seguridad y protección de datos en entornos de RV

La seguridad de la información en sistemas inmersivos constituye un pilar transversal que garantiza la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos generados durante la simulación clínica. La convergencia entre la Realidad Virtual y la gestión de datos académicos exige la implementación de protocolos robustos que protejan la identidad del usuario y los resultados de sus prácticas. Según [31], la gestión de seguridad es el proceso que permite "controlar el acceso, la autenticación y los roles correspondientes" para asegurar una experiencia personalizada y protegida.

a. Cumplimiento de la ley orgánica de protección de datos

El tratamiento de la información dentro de la sala UCI virtual debe alinearse con los marcos legales vigentes sobre la privacidad de datos personales.

- **Privacidad desde el diseño:** Se fundamenta en la protección de la información sensible de los estudiantes de enfermería, asegurando que el almacenamiento de nombres, identificadores institucionales y métricas de desempeño cumpla con las normativas de confidencialidad. Como se vio en el enfoque de

gobernanza de datos de [31], el diseño arquitectónico debe prever la protección de los datos de los usuarios desde las fases preliminares del desarrollo para mitigar riesgos de filtraciones en entornos de almacenamiento híbrido.

b. Autenticación y control de accesos por roles

La segmentación de permisos es esencial para organizar la interacción dentro del entorno virtual y proteger las funcionalidades administrativas.

- **Gestión de identidades:** Implementa un proceso de autenticación que valida la identidad del estudiante de la UTA antes de permitir el acceso a la sala. Según [31], este control es un "paso fundamental" para que cada tipo de usuario disponga de los permisos adecuados a su función académica.

- **Diferenciación de roles:** La arquitectura de seguridad permite restringir el acceso a módulos de configuración o reportes globales, diferenciando claramente entre quien realiza la práctica de familiarización y quien supervisa los resultados académicos. Según lo expuesto en [31], la aplicación de políticas rígidas basadas en roles es un requisito clave para preservar la autonomía de los servicios y auditar el historial de modificaciones mediante registros de actividad transparentes (logs).

c. Protocolos de encriptación y resguardo de credenciales

La protección técnica de los datos evita que la información sea interceptada o vulnerada por agentes externos no autorizados.

- **Seguridad en la comunicación:** El intercambio de datos entre el visor de RV y el servidor se realiza bajo protocolos seguros que cifran la información durante el tránsito, protegiendo las credenciales y el flujo de información técnica de la sala UCI. De acuerdo con los estándares de conectividad analizados en [31], la implementación de canales cifrados mediante HTTPS apoyados en la seguridad de la capa de transporte y una infraestructura de clave pública es obligatoria para proteger el canal contra el espionaje y la alteración de datos en tránsito.

1.3.7 Criterios de distribución espacial y ubicación del equipamiento biomédico

La disposición y distribución geométrica de los activos biomédicos dentro del cubículo inmersivo de la simulación se fundamenta en las directrices internacionales de diseño arquitectónico y clínico estipuladas por la Society of Critical Care Medicine (SCCM) y el American College of Critical Care Medicine (ACCM) [32]. De acuerdo con estas directrices, el entorno hospitalario se rige bajo el principio de que "la forma sigue a la función", organizando el espacio periférico de la cama del paciente en zonas funcionales e interrelacionadas para optimizar los flujos de trabajo de enfermería y garantizar la seguridad clínica [32]:

a. Flanco izquierdo del paciente (zona de soporte vital e infusión continua)

Equipos: Ventilador mecánico y bombas de infusión.

Justificación e interacción: El ventilador mecánico se posiciona en este sector para asegurar el acople ergonómico de los circuitos de mangueras corrugadas hacia la vía aérea del paciente. En esta misma zona se agrupan las bombas de infusión (volumétricas y de jeringa), permitiendo al profesional de enfermería dosificar soluciones críticas en mililitros por hora y administrar bolos de emergencia en un solo ramal operativo de fácil acceso [32].

b. Flanco derecho del paciente (Zona de monitoreo, respuesta crítica y fluidoterapia)

Equipos: Monitor de signos vitales, soporte de sueros y carro de paro.

Justificación e interacción: El monitor de signos vitales se sitúa en este flanco sobre la pared técnica o columna de cabecera para garantizar una visibilidad ininterrumpida de las curvas fisiológicas y alarmas desde el pasillo o cualquier punto del cubículo [32]. Junto a este, el Soporte de Sueros centraliza las líneas de hidratación y fluidos basales. Por su parte, el Carro de Paro se ubica de forma estratégica en el lado derecho. Según los criterios de la SCCM, esta localización asegura un área libre de obstáculos que permite el desplazamiento inmediato del desfibrilador y los insumos de reanimación en milisegundos ante un evento de paro cardiorrespiratorio [32].

1.3.8 Validación pedagógica y metodología de evaluación

La eficacia de un simulador virtual en enfermería no depende únicamente de su fidelidad gráfica, sino de la solidez de los métodos evaluativos empleados para medir el progreso del estudiante. La literatura científica destaca que la implementación de métodos evaluativos integrales formativos y sumativos es fundamental para garantizar que el entorno virtual traduzca la teoría en competencias reales de seguridad del paciente.

a. Taxonomía de Bloom aplicada a la simulación

Esta metodología clasifica el aprendizaje en niveles de complejidad cognitiva para asegurar una formación progresiva y estructurada. En este entorno virtual, se aplica para organizar las competencias en el nivel de "recordar", fundamental para la identificación técnica de activos clínicos, y en el nivel de "aplicar", esencial para la comprensión y uso correcto del espacio físico dentro de una UCI, cumpliendo con los principios de diseño de escenarios que requieren una evolución continua en la dificultad del aprendizaje [33].

b. Juicio de expertos

La validez de contenido del instrumento representa un paso crítico en la investigación, dado que la integración de métodos de prueba, validación y análisis de sensibilidad es fundamental para asegurar la calidad y credibilidad de los escenarios clínicos [33]. Para garantizar que los equipos representados sean fieles a la realidad y pedagógicamente pertinentes, se emplea el Coeficiente de Validez de Contenido (CVC), una técnica estadística que permite cuantificar el nivel de acuerdo entre especialistas clínicos, asegurando la objetividad, fiabilidad y precisión del instrumento antes de su aplicación formal [33].

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Implantar un entorno virtual inmersivo basado en Realidad Virtual para la simulación de una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), orientado a la familiarización espacial, técnica de los estudiantes de la carrera de Enfermería de la Universidad Técnica de Ambato, como apoyo al proceso de enseñanza.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el entorno de desarrollo para aplicaciones de Realidad Virtual orientadas a la simulación de una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), considerando los requerimientos funcionales necesarios para la familiarización espacial y técnica de los estudiantes de Enfermería.

- Diseñar los elementos del entorno virtual de una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), de acuerdo con criterios de realismo basados en el entorno hospitalario real.

- Desarrollar un entorno virtual con RV que simule una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), permitiendo la interacción de los estudiantes de Enfermería como apoyo al proceso de enseñanzas.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para la fase de diagnóstico situacional del proyecto de investigación, se seleccionaron instrumentos estandarizados diseñados para recopilar información técnica, pedagógica y operativa. Estos instrumentos permitieron fundamentar la problemática educativa actual en la carrera de enfermería y determinar las carencias en la formación práctica dentro de entornos críticos:

- **Cuestionario sobre la formación en entornos críticos:** Se diseñó un instrumento estructurado bajo una escala de Likert, dirigido a los estudiantes de octavo semestre de la carrera de enfermería de en el periodo enero – julio 2026. El objetivo principal de este cuestionario fue cuantificar la brecha existente entre la formación teórica recibida en el aula y la capacidad de reconocimiento real de equipos biomédicos en una UCI. El instrumento evalúa dimensiones críticas como la dificultad de memorización técnica mediante métodos tradicionales, el impacto emocional (estrés e incertidumbre) derivado de la falta de práctica física y la predisposición del alumnado hacia el uso de tecnologías inmersivas como método de refuerzo académico (Anexo A. Encuesta de diagnóstico).

- **Entrevista a docente especialista:** Se aplicó un instrumento de corte cualitativo dirigido a un experto con experiencia clínica y docente en el área de cuidados críticos de la Universidad Técnica de Ambato. El propósito de esta entrevista fue recolectar criterios técnicos especializados sobre la complejidad del mobiliario biomédico y las restricciones hospitalarias vigentes que limitan el aprendizaje presencial. La información obtenida a través de este instrumento permitió definir los niveles de fidelidad visual y funcional necesarios para que un entorno virtual sea pedagógicamente válido, asegurando que la representación de los equipos críticos esté alineada con los estándares reales de seguridad del paciente (Anexo B. Guía de entrevista a docente).

2.2 Métodos

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo que permite fundamentar el estudio en datos objetivos y estructurados representados numéricamente, constituyendo una base sólida para la aplicación de análisis estadísticos que respalden el diagnóstico de la problemática educativa en la carrera de Enfermería.

Bajo este enfoque, se recolectaron datos sobre la percepción estudiantil respecto a las limitaciones del modelo de enseñanza tradicional y la necesidad técnica de entornos inmersivos. Este método asegura la objetividad en la interpretación de los resultados, permitiendo cuantificar la brecha de aprendizaje práctico y el impacto emocional (estrés e incertidumbre) derivado de la falta de acceso a equipos biomédicos reales.

Complementariamente, el estudio incorpora un componente cualitativo mediante la aplicación de una entrevista dirigida a un docente especialista de la Universidad Técnica de Ambato. Esta técnica permite obtener criterios expertos sobre la fidelidad funcional y técnica que debe poseer el mobiliario clínico diseñado, validando la información pedagógica de la solución propuesta desde la perspectiva de la práctica hospitalaria en cuidados críticos.

2.2.1 Modalidad de la investigación

La presente investigación se desarrolla bajo la modalidad de investigación aplicada, la cual se enfoca en el uso de conocimientos teóricos y tecnológicos para resolver problemas prácticos mediante la creación de una solución tecnológica funcional. En este proyecto, el trabajo se orienta al desarrollo de un entorno digital inmersivo que recrea una UCI, con el objetivo de mejorar la capacidad de los estudiantes de Enfermería para identificar y ubicar correctamente el equipamiento médico especializado. A diferencia de los estudios puramente teóricos, esta propuesta busca generar una herramienta de uso inmediato que permita reducir los errores y el estrés académico que surgen cuando el alumnado se enfrenta por primera vez a un escenario crítico real.

Bajo este mismo contexto, la presente investigación se adscribe también a la modalidad de investigación de campo, dado que la recolección de información se realizó directamente en el lugar de los hechos, específicamente en la Carrera de Enfermería de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Técnica de Ambato. Mediante la aplicación de entrevistas y encuestas de diagnóstico a los sujetos de estudio, fue posible obtener datos primarios y originales que fundamentan la problemática desde la realidad institucional. Esta interacción directa con el entorno académico asegura que el diseño del simulador virtual no sea una mera representación genérica, sino una respuesta concreta a las necesidades detectadas en los docentes y estudiantes de la carrera.

Finalmente, la combinación de estas modalidades permite verificar la efectividad del sistema y su cumplimiento con los objetivos educativos planteados. Al poner en marcha este entorno interactivo, es posible obtener datos reales sobre cómo la simulación contribuye al desarrollo de competencias técnicas y habilidades críticas en el alumnado de enfermería de la UTA, consolidando a la Realidad Virtual como una plataforma eficiente para la enseñanza en escenarios de alta complejidad clínica.

2.2.2 Población y muestra

La población objeto de estudio está constituida por el personal académico y el estudiantado de la carrera de Enfermería de octavo semestre de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Técnica de Ambato, correspondiente al ciclo enero – julio 2026.

Docente:

La población cuenta con la participación de un docente especialista en el área de cuidados críticos, encargado de guiar las prácticas clínicas y supervisar el conocimiento técnico de los estudiantes de último nivel. El docente participa a través de una entrevista semiestructurada para validar la fidelidad y aplicabilidad del sistema. Para este caso, se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando al experto por su perfil profesional y vinculación directa.

- Población Docente: 1 persona.

Estudiantes:

La población estudiantil que forma parte de este proyecto está integrada por los alumnos matriculados en el octavo semestre de la carrera de enfermería correspondiente al ciclo enero – julio 2026. Este grupo fue seleccionado debido a que poseen los conocimientos teóricos previos necesarios para reconocer la complejidad de una unidad crítica, lo que permite obtener un diagnóstico preciso sobre las falencias en el aprendizaje práctico tradicional y las necesidades técnicas del entorno.

- **Población Estudiantil:** 97 estudiantes.
- **Muestra:** Para determinar el tamaño de la muestra representativa de los estudiantes, se aplicó la fórmula de muestreo aleatorio simple para poblaciones finitas. Este método probabilístico garantiza que todos los integrantes de la población tengan la misma probabilidad de ser seleccionados, otorgando validez estadística a los resultados obtenidos

  n: Tamaño de la muestra.

  N: Tamaño de la población (97).

  Z: Nivel de confianza (1.96 para un 95%).

  p: Desviación estándar (0.5).

  e: Error de estimación (0.095 aproximadamente 9.5%).

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

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{97} * \mathbf{1.96^2} * \mathbf{0.5} * (\mathbf{1} - \mathbf{0.5})}{\mathbf{0.095^2} * (\mathbf{97} - \mathbf{1}) + \mathbf{1.96^2} * \mathbf{0.5} * (\mathbf{1} - \mathbf{0.5})}$$

n= 51

2.2.3 Recolección de información

Para el desarrollo de la investigación, se seleccionaron técnicas de recolección de datos primarios orientadas a identificar la problemática educativa actual y los requerimientos técnicos necesarios para la propuesta inmersiva. Los métodos empleados se detallan a continuación:

a. Encuesta estudiantil

Se utilizó la encuesta como método principal para obtener datos cuantitativos sobre las limitaciones percibidas en el modelo de enseñanza tradicional para el "Reconocimiento de Activos Clínicos en la sala UCI". Este recurso permitió recopilar de manera organizada las opiniones de los 51 estudiantes de la muestra, enfocándose en la dificultad de aprendizaje teórico, la falta de acceso a equipos reales y la necesidad de herramientas virtuales para su formación. El cuestionario se compone de una serie de preguntas diseñadas bajo una escala de Likert que facilita el análisis estadístico, asegurando que los resultados reflejen fielmente la brecha de conocimiento que el sistema propuesto busca mitigar (Anexo A).

- **Validación de la encuesta**

Para asegurar la consistencia del cuestionario de diagnóstico, se efectuó una prueba piloto con una muestra de 8 estudiantes de octavo semestre de la carrera de Enfermería. La validación se realizó mediante el cálculo del coeficiente Alfa de Cronbach ($\boldsymbol{\alpha}$), obteniendo un valor de 0,915, tal como se detalla en el reporte de fiabilidad de Figura 2.

De acuerdo con los baremos de interpretación técnica, este resultado refleja un nivel de confiabilidad excelente. La evidencia estadística presentada en la Figura 2 demuestra que los ítems del instrumento están altamente correlacionados y miden de forma estable la problemática identificada, especialmente la brecha entre la limitada disponibilidad de prácticas físicas en unidades críticas y la urgencia de implementar soluciones tecnológicas inmersivas en la UTA.

ENCUESTADOS	ITEM 1	ITEM 2	ITEM 3	ITEM 4	ITEM 5	ITEM 5	ITEM 7	SUMA
E1	1	5	4	4	5	5	4	28
E2	1	5	5	4	5	5	4	29
E3	1	5	5	5	5	5	5	31
E4	1	4	4	4	4	4	4	25
E5	1	5	5	5	5	5	5	31
E6	2	5	5	5	5	5	5	32
E7	2	5	5	5	5	5	5	35
E8	2	3	5	5	4	4	5	28
VARIANZA	0,234375	0,484375	0,1875	0,234375	0,1875	0,1875	0,234375	
SUMATORIA DE VARIANZAS	1,75							
VARIANZA DE LA SUMA DE LOS ÍTEMS	8,109375							

$$\alpha = \frac{K}{K-1}\left[1 - \frac{\sum S_i^{\,2}}{S_T^{\,2}}\right]$$

α:	Coeficiente de confiabilidad del cuestionario	0,915
k:	Número de ítems del instrumento	7
$\sum_{i=1}^{K} S_i^2$:	Sumatoria de las varianzas de los ítems.	1,750
$\sum_{i=1}^{K} S_i^2$:	Varianza total del instrumento.	8,109

RANGO	CONFIABILIDAD
0.53 a menos	Confiabilidad nula
0.54 a 0.59	Confiabilidad baja
0.60 a 0.65	Confiable
0.66 a 0.71	Muy confiable
0.72 a 0.99	Excelente confiabilidad
1	Confiabilidad perfecta

Figura 2. Cálculo de alfa de Cronbach en estudiantes

¿Considera que el acceso físico a las unidades de cuidados intensivos reales para prácticas de reconocimiento es suficiente durante su formación?

En la Figura 3, el 82% de los estudiantes se manifiesta "Totalmente en desacuerdo" y un 8% en "En desacuerdo" con la suficiencia del acceso físico actual. Este alto índice acumulado del 90% confirma una limitación crítica en los escenarios de práctica presencial, validando la necesidad de implementar soluciones de Realidad Virtual en la carrera.

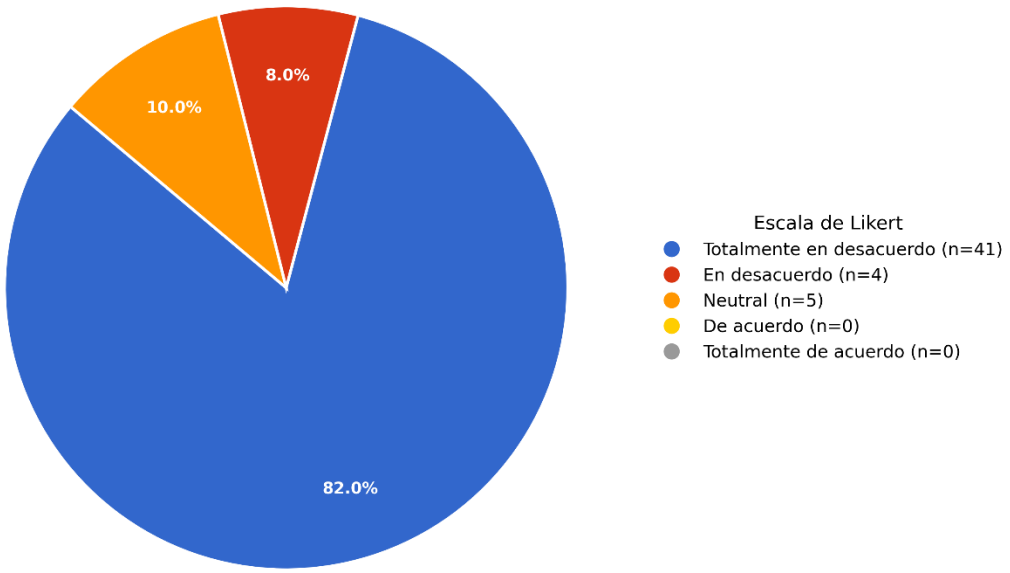


Figura 3. Percepción sobre la suficiencia del acceso físico a las unidades de cuidados intensivos

¿Cree que contar con una simulación virtual que replique la distribución real de una UCI facilitaría su adaptación previa a las prácticas hospitalarias?

Según la Figura 4 el 54% de los estudiantes se manifiesta "Totalmente de acuerdo" y un 32% "De acuerdo" con que una simulación fiel facilitaría su adaptación previa. Este consenso del 86% posiciona a la Realidad Virtual como una solución técnica viable para reducir la incertidumbre y optimizar la confianza del alumno antes de su rotación hospitalaria.

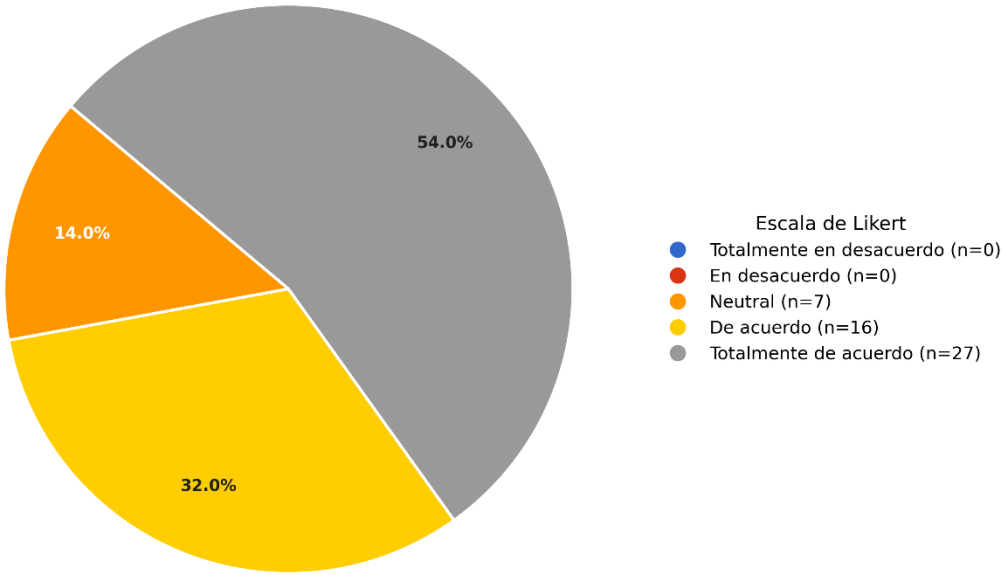


Figura 4. Valoración de la simulación virtual como facilitador de adaptación a la práctica hospitalaria

¿Considera difícil memorizar la ubicación y los nombres técnicos de todos los equipos médicos (ventiladores, monitores, etc.) solo con clases teóricas?

De acuerdo con la Figura 5, el 56% de los estudiantes se encuentra "Totalmente de acuerdo" y un 38% "De acuerdo" con que la teoría es insuficiente para memorizar equipos críticos. Este consenso del 94% ratifica una problemática educativa que justifica la implementación de un entorno virtual para facilitar el reconocimiento práctico y visual del mobiliario clínico.

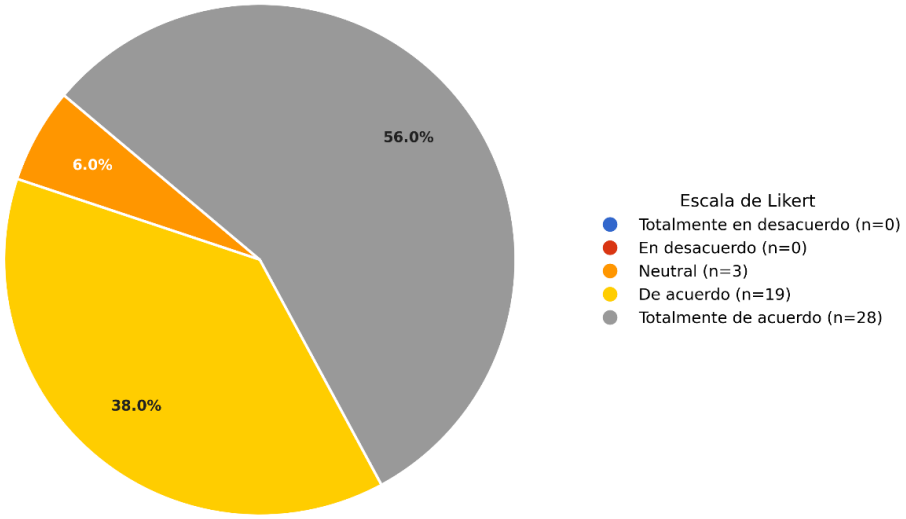


Figura 5. Percepción sobre la dificultad de memorización técnica de equipos médicos mediante clases teóricas

¿Le resultaría útil disponer de una herramienta digital que le permita visualizar las funciones de cada equipo clínico de forma interactiva?

Los resultados de la Figura 6 muestran que el 58% de los estudiantes se manifiesta "Totalmente de acuerdo" y un 34% "De acuerdo" con la utilidad de herramientas interactivas. Este consenso del 92% ratifica que la interactividad es un componente crítico para fortalecer el aprendizaje práctico, validando el desarrollo de un entorno virtual para visualizar las funciones del equipo clínico.

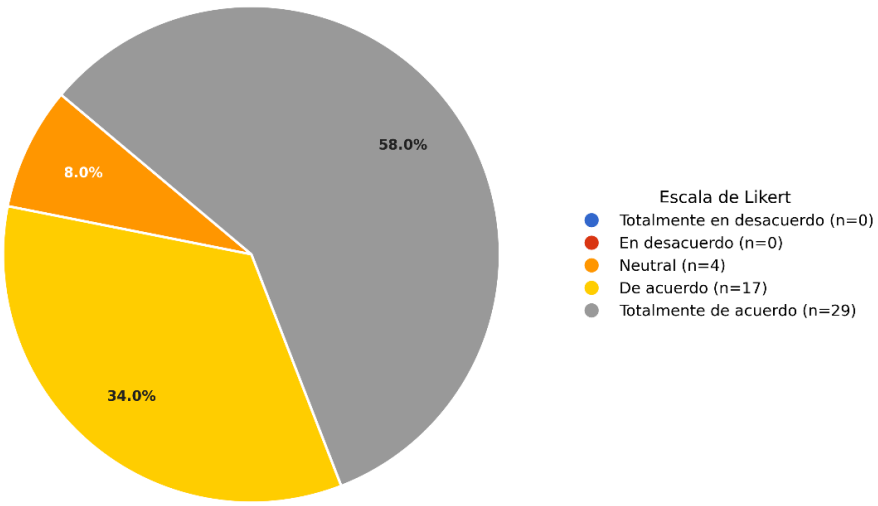


Figura 6. Valoración de la utilidad pedagógica de herramientas interactivas para el reconocimiento de equipos clínicos

¿Cree que el uso de tecnologías inmersivas (Realidad Virtual) es una metodología innovadora que debería incorporarse como un recurso de apoyo didáctico en la carrera de Enfermería?

De acuerdo con la Figura 7, el 72% de los estudiantes se manifiesta "Totalmente de acuerdo" y un 20% "De acuerdo" con la incorporación de la Realidad Virtual. Este consenso del 92% ratifica la pertinencia del proyecto para modernizar las herramientas de aprendizaje y fortalecer las competencias tecnológicas de los futuros profesionales en la UTA.

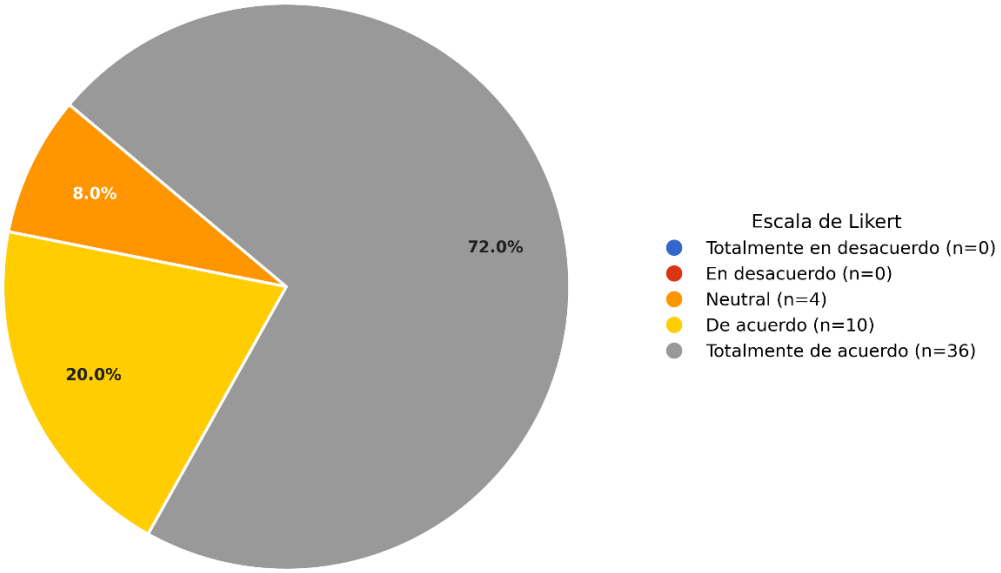


Figura 7. Percepción estudiantil sobre la implementación de tecnologías inmersivas como recurso de apoyo pedagógico

¿Considera que la falta de familiarización previa con el mobiliario de una UCI genera estrés o incertidumbre antes de iniciar una rotación real?

Según los resultados de la Figura 8, el 60% de los estudiantes se manifiesta "Totalmente de acuerdo" y un 28% "De acuerdo" con que la falta de contacto previo con equipos críticos genera estrés. Este consenso del 88% ratifica la necesidad de implementar soluciones tecnológicas que permitan una exploración segura, actuando como un factor de mitigación emocional antes de la práctica presencial.

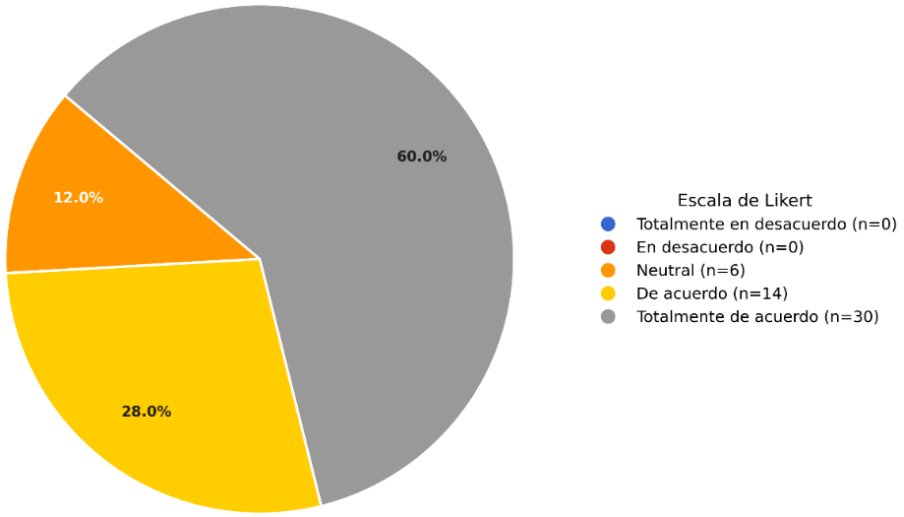


Figura 8. Percepción sobre el impacto emocional de la falta de familiarización previa con el entorno UCI

¿Estaría dispuesto a utilizar un entorno virtual fuera del horario de clases para reforzar su capacidad de identificar insumos y equipos críticos?

De acuerdo con la Figura 9, se observa que el 60% de los estudiantes se manifiesta "Totalmente de acuerdo" y un 24% "De acuerdo" con utilizar el entorno virtual fuera del horario de clases. Este consenso del 84% confirma la viabilidad del proyecto como un recurso flexible que permite al alumno reforzar sus competencias técnicas de forma independiente y a su propio ritmo.

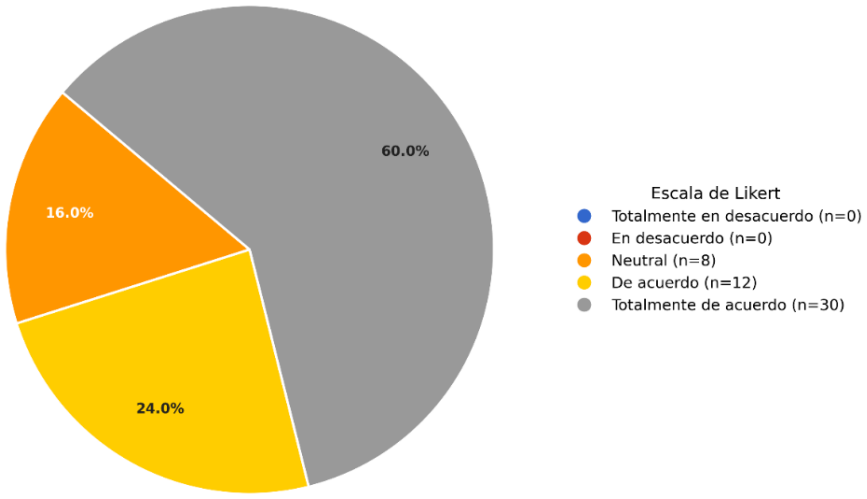


Figura 9. Disposición estudiantil hacia el aprendizaje autónomo mediante el uso de entornos virtuales fuera del horario académico

¿Considera que una representación visual en 3D es más efectiva para el aprendizaje que el uso de manuales o fotografías planas?

De acuerdo con la Figura 10, el 62% de los encuestados se manifiesta "Totalmente de acuerdo" y un 32% "De acuerdo" con que las representaciones 3D son más efectivas que los manuales planos. Este consenso del 94% ratifica que la tridimensionalidad ofrece una ventaja cognitiva superior, justificando plenamente el desarrollo de un simulador inmersivo como herramienta de vanguardia académica.

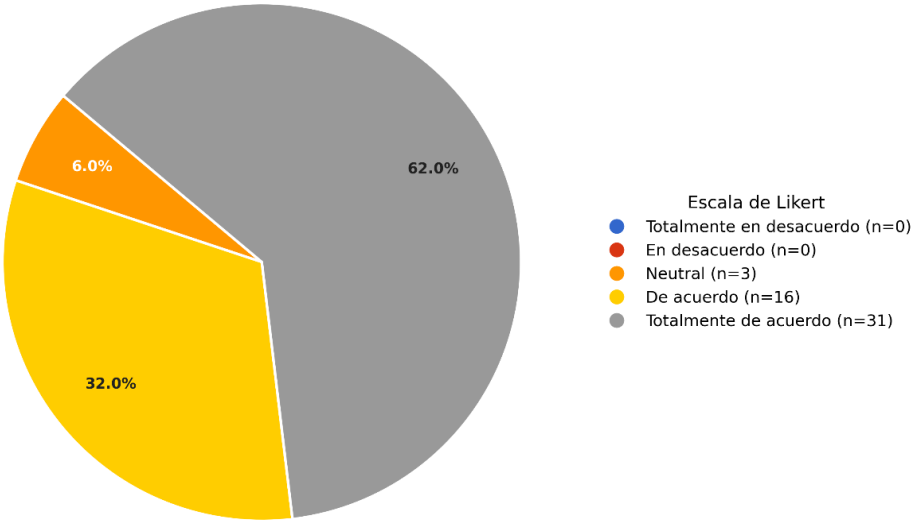


Figura 10. Preferencia de aprendizaje mediante representaciones tridimensionales frente a recursos gráficos tradicionales

De acuerdo con los resultados consolidados en la Tabla 3. Análisis de tendencia central y distribución porcentual global, se observa un 78.9% de aceptación hacia el uso de tecnologías inmersivas, agrupando las categorías de mayor conformidad.

Por el contrario, el 10.3% reflejado en "Totalmente en desacuerdo" evidencia la carencia actual de acceso físico a las UCI, lo que ratifica estadísticamente la necesidad de implementar el simulador virtual propuesto para fortalecer la formación académica en la UTA.

Tabla 3. Análisis de tendencia central y distribución porcentual global

Escala de Likert	Promedio	Porcentaje global %
Totalmente en Desacuerdo	5.3	10.3
En Desacuerdo	0.5	1.0%
Neutral	5.0	9.8%
De Acuerdo	13.0	25.5%
Totalmente de Acuerdo	27.2	53.4%
Muestra Total	51	100%

b. Entrevista al docente

Se recurrió a la entrevista como una técnica de recolección de información cualitativa, orientada a obtener una visión profunda sobre los estándares clínicos requeridos en la carrera de enfermería. Gracias a su carácter flexible, este método facilitó el intercambio de ideas y reflexiones del docente especialista sobre las características técnicas que debe poseer el mobiliario biomédico y las funcionalidades esenciales de una sala crítica. La información recolectada proporciona una base crítica para validar la pertinencia de la realidad virtual como una solución viable ante las limitaciones actuales y definir los parámetros de fidelidad necesarios para que el futuro entorno virtual cumpla con las exigencias de un escenario clínico real (Anexo B).

- **Entrevista**

Conforme a los hallazgos consolidados en la Tabla 4, la validación del experto confirma que la enseñanza tradicional presenta limitaciones críticas frente a las restricciones hospitalarias y de bioseguridad. El docente ratifica que la implementación de Realidad Virtual es una necesidad imperiosa para mitigar el estrés académico, garantizando que el estudiante adquiera competencias técnicas y espaciales precisas antes de la interacción real con el paciente crítico en la UTA.

Tabla 4. Entrevista de diagnóstico cualitativo y validación experta

N°	Pregunta	Respuesta	Conclusión
1	¿Qué metodologías o herramientas tecnológicas utiliza actualmente para que los estudiantes se familiaricen con el equipamiento de una UCI antes de sus prácticas reales?	Uso de metodologías tradicionales (PDFs, fotos planas y proyecciones). El acceso físico a la UCI real es restringido por bioseguridad y seguridad del paciente.	Existe una dependencia de recursos estáticos que no permiten la interacción práctica, evidenciando una brecha pedagógica.

N°	Pregunta	Respuesta	Conclusión
2	¿Cuáles considera que son las principales dificultades que enfrentan los estudiantes al intentar reconocer la disposición espacial y técnica de una unidad crítica real debido a las restricciones hospitalarias?	Desorientación técnica y espacial. El estudiante se siente abrumado y no logra dimensionar la ubicación de equipos críticos bajo presión.	Las restricciones hospitalarias limitan el reconocimiento profundo, generando una desconexión entre la teoría y el entorno real.
3	¿Qué tan crítico es que un estudiante logre diferenciar visualmente los activos clínicos y el mobiliario especializado antes de manipularlos físicamente?	Es absolutamente crítico para la seguridad del paciente. Errores en la configuración de equipos pueden tener consecuencias fatales.	El reconocimiento visual instantáneo es una competencia obligatoria que debe consolidarse antes de la práctica presencial.
4	¿En su opinión, ¿qué deficiencias ha observado en los estudiantes al momento de identificar nombres y funciones específicas de la instrumentación biomédica compleja?	Confusión en la nomenclatura técnica y comprensión limitada de la interacción funcional de los equipos en situaciones de emergencia.	La falta de práctica interactiva deriva en errores de comunicación y lentitud operativa en el equipo de salud.
5	¿Cree que el uso de tecnologías inmersivas (Realidad Virtual) es una metodología innovadora que debería incorporarse como un recurso de apoyo didáctico en la carrera de Enfermería?	Sí, es una necesidad imperiosa. La RV permite un entorno controlado, repetible y seguro para adquirir competencias técnicas.	La tecnología inmersiva es validada por el experto como la solución técnica viable para modernizar la malla curricular de la UTA.
6	¿Qué tan importante considera que los recursos educativos garanticen que la información técnica (manuales, etiquetas, funciones) sea precisa y esté protegida contra alteraciones?	Es de vital importancia ya que cualquier imprecisión en manuales o funciones puede llevar a decisiones clínicas erróneas.	El recurso educativo (simulador) debe garantizar integridad y veracidad de los datos para asegurar un aprendizaje confiable.

c. Nube de palabras

En la Figura 11, se presenta la nube de palabras generada a partir de la entrevista con el docente experto, donde se evidencia la jerarquización de los términos tras el procesamiento algorítmico. Este patrón revela que la conversación se centró en dimensiones críticas como ["entorno", "técnica", "crítico", "información", "seguridad"], lo que ratifica las prioridades pedagógicas y de diseño para el simulador. Conceptos como "estrés", "biomédica" y "presencial", aunque con menor peso estadístico, complementan el diagnóstico al señalar los factores emocionales y técnicos que el sistema de Realidad Virtual debe mitigar.



Figura 11. Nube de palabras basada en la relevancia técnica (TF-IDF) extraída de la entrevista a experto

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos

El tratamiento de la información recolectada se realizó mediante un enfoque integral que combina la estadística descriptiva para los datos cuantitativos y el Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) para los datos cualitativos. Este procedimiento garantizó el rigor metodológico necesario para transformar las opiniones de estudiantes y docentes en resultados estructurados y analizables.

a. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos mediante el cuestionario de diagnóstico, diseñado bajo una Escala de Likert de cinco puntos, fueron procesados mediante herramientas de hoja de cálculo (Excel) y scripts de análisis de datos en Python. Se aplicaron técnicas de estadística descriptiva, tales como el cálculo de frecuencias absolutas, promedios y porcentajes, permitiendo identificar las tendencias de aceptación hacia la solución tecnológica propuesta

Para la información obtenida en las entrevistas, se implementó un análisis automatizado asistido por computación, alejándose de los métodos manuales

tradicionales. Una vez transcritos los testimonios, se utilizó el lenguaje de programación Python para ejecutar un flujo de procesamiento de lenguaje natural estructurado en las siguientes fases:

- **Preprocesamiento de texto:** Se realizó una depuración automática eliminando signos de puntuación, acentos y palabras sin carga semántica, conservando únicamente términos relevantes (sustantivos, verbos y adjetivos) vinculados a la experiencia en la sala UCI.

- **Aplicación del algoritmo TF-IDF:** Se empleó la técnica Term Frequency–Inverse Document Frequency (TF-IDF) para cuantificar la relevancia de cada concepto dentro del discurso docente. Este método permitió asignar un peso estadístico a las palabras más significativas, identificando patrones críticos relacionados con el realismo del entorno, la inmersión y la utilidad pedagógica.

- **Visualización Semántica:** A partir de los valores de peso promedio obtenidos, se generaron representaciones gráficas como nubes de palabras y diagramas de barras de importancia de términos. Estas visualizaciones permitieron sintetizar la percepción del experto de forma clara y objetiva.

El contraste entre los resultados estadísticos de los estudiantes y los patrones semánticos obtenidos del docente permitió validar el impacto educativo del entorno de realidad virtual. Este procesamiento sistemático aporta un sustento empírico robusto a las conclusiones del estudio, fortaleciendo la validez científica de la investigación en el contexto de la simulación clínica.

b. Análisis de datos

El análisis de los datos recolectados a través del cuestionario aplicado a los 51 estudiantes de la carrera de Enfermería revela una brecha crítica en la formación técnica tradicional. Al examinar los resultados obtenidos, el hallazgo más alarmante se concentra en la limitación del acceso físico a los escenarios reales de práctica, ya que un 90% de la muestra coincide en que el ingreso a las UCI es insuficiente. Esta carencia de contacto directo con el entorno clínico real no es un factor menor, sino que constituye el origen de una desorientación técnica que condiciona el desempeño del

futuro profesional. La explicación a este fenómeno radica en que la formación actual depende de recursos estáticos que no logran replicar la complejidad tridimensional de una sala crítica, lo que genera que el 86% de los alumnos identifique a la simulación fiel como el único mecanismo viable para una adaptación previa efectiva. No se trata simplemente de observar el mobiliario, sino de comprender su disposición espacial para reducir la incertidumbre antes del contacto directo con el paciente.

La problemática se profundiza al evaluar la carga cognitiva que supone el aprendizaje puramente teórico. El análisis de las respuestas indica que un 94% de los encuestados experimenta dificultades severas para memorizar la ubicación y nomenclatura de los activos clínicos basándose en manuales o fotografías planas. Este dato es fundamental para justificar el desarrollo del software, pues demuestra que el cerebro del estudiante de enfermería requiere de interactividad y tridimensionalidad para procesar la instrumentación biomédica compleja. Al respecto, el 92% de los estudiantes valida la necesidad de herramientas digitales que permitan visualizar funciones de forma dinámica. La explicación técnica detrás de este alto índice de aceptación es que la Realidad Virtual rompe la pasividad del aprendizaje tradicional, permitiendo que el alumno "explore" en lugar de solo "leer", lo que garantiza una retención del conocimiento mucho más profunda y alineada con los estándares de seguridad clínica exigidos en la UTA.

Desde una perspectiva psicopedagógica, los resultados exponen que el entorno hospitalario real es percibido como un foco de alta tensión emocional. El 88% de los participantes asocia la falta de familiarización previa con niveles elevados de estrés e incertidumbre. Este hallazgo permite concluir que el simulador virtual no es solo un apoyo didáctico, sino una herramienta de mitigación de riesgos emocionales. Al ofrecer un entorno de entrenamiento seguro y repetible, el sistema permite que el estudiante cometa errores y aprenda de ellos sin las consecuencias fatales que tendría un error en la vida real. Esta seguridad psicológica es la que permite que el 92% de la muestra califique a la Realidad Virtual como una metodología innovadora indispensable. El respaldo es tan contundente que el 84% manifiesta una disposición total al autoaprendizaje fuera del horario de clases, lo que asegura la viabilidad y sostenibilidad del uso del software una vez implementado en los laboratorios de la universidad.

Complementando la visión estudiantil, el análisis cualitativo de la entrevista al docente experto, procesado mediante la técnica TF-IDF, ratifica las deficiencias del modelo actual desde una óptica profesional y operativa. El algoritmo identificó que los términos con mayor relevancia semántica en el discurso del docente son "entorno", "técnica" y "crítico", lo que explica que la mayor preocupación del experto no es la falta de información teórica, sino la incapacidad del alumno para reaccionar ante la disposición espacial de la UCI real. El docente enfatiza que la desorientación técnica en un área crítica es un riesgo inaceptable para la seguridad del paciente. Según el análisis de relevancia estadística del discurso, conceptos como "precisión" e "información veraz" emergen como requisitos no negociables para el software, sugiriendo que cualquier recurso educativo debe garantizar que los datos técnicos de los monitores y ventiladores sean infalibles para evitar decisiones clínicas erróneas.

También la triangulación de ambos instrumentos permite concluir que existe una convergencia absoluta entre la necesidad del estudiante y la visión del docente. Mientras el alumno busca reducir su estrés y mejorar su memorización a través de la tridimensionalidad (respaldada por el 94% de preferencia por modelos 3D), el docente valida esta necesidad como una "imperiosa modernización pedagógica". El análisis TF-IDF mostró una recurrencia significativa de los términos "simulación" y "virtual", lo que demuestra que el experto considera a la tecnología inmersiva como el puente necesario para cerrar la brecha entre el aula y el hospital. En definitiva, la investigación demuestra que la sala UCI virtual desarrollada no solo responde a un avance tecnológico, sino a una demanda estructural de la carrera para garantizar que los futuros enfermeros de la UTA posean competencias técnicas sólidas, reduciendo el error humano y elevando los estándares de atención en las casas de salud de la región.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo detalla la fase de ejecución técnica del proyecto, centrándose en el análisis comparativo, la selección estratégica del stack tecnológico y la posterior implementación de las funcionalidades que estructuran la solución virtual. Tras haber establecido en los apartados previos los conceptos clave sobre motores gráficos, lenguajes de programación, dispositivos de visualización, bases de datos y metodologías ágiles, esta sección traslada dicho conocimiento al plano práctico. El objetivo fundamental es consolidar una solución integrada que responda a las exigencias operativas de la plataforma web y a los requerimientos del entorno inmersivo de la sala UCI, garantizando una interacción fluida, segura y justificable desde la perspectiva de la ingeniería de software.

Para cumplir con este propósito, se describe la adopción de la metodología ágil Extreme Programming (XP) como el enfoque de ingeniería para la construcción y despliegue del sistema. Esta metodología fue seleccionada debido a que se adapta muy bien para optimizar los ciclos de desarrollo en contextos académicos, ofrece flexibilidad para absorber cambios en los requisitos de software y se orienta hacia la entrega continua de funciones. La combinación entre un análisis técnico basado en los requisitos de rendimiento y una estrategia ágil de desarrollo asegura que la solución final cumpla con los objetivos de diseño, opere de forma eficiente con los controladores de las gafas Meta Quest 3 y establezca una arquitectura escalable para la carrera de Enfermería de la Universidad Técnica de Ambato.

3.1 Planificación

En esta fase de planificación y especificación técnica necesaria para el cumplimiento del primer objetivo específico. A través de un análisis exhaustivo, se definen los requerimientos funcionales y no funcionales que rigen el entorno virtual, asegurando que la simulación de la UCI responda fielmente a las necesidades de los estudiantes de Enfermería de la Universidad Técnica de Ambato. Asimismo, se evalúa el entorno de desarrollo óptimo, contrastando diversas herramientas de software y hardware bajo

criterios técnicos de rendimiento, escalabilidad y realismo, con el fin de garantizar una experiencia de aprendizaje inmersiva, segura y precisa.

3.1.1 Diagrama de procesos

Antes de proceder con la especificación técnica de los requerimientos de software, es indispensable analizar las limitaciones del modelo educativo tradicional enfocado en la familiarización de equipos biomédicos. Para esto, se adopta el estándar internacional BPMN 2.0 (Business Process Model and Notation), el cual permite estructurar mediante un diagrama de procesos la secuencia de actividades y los puntos de decisión que ejecuta el estudiante dentro del laboratorio físico presencial, sirviendo como la línea base diagnóstica que justifica la necesidad de implementar el simulador interactivo de realidad virtual.

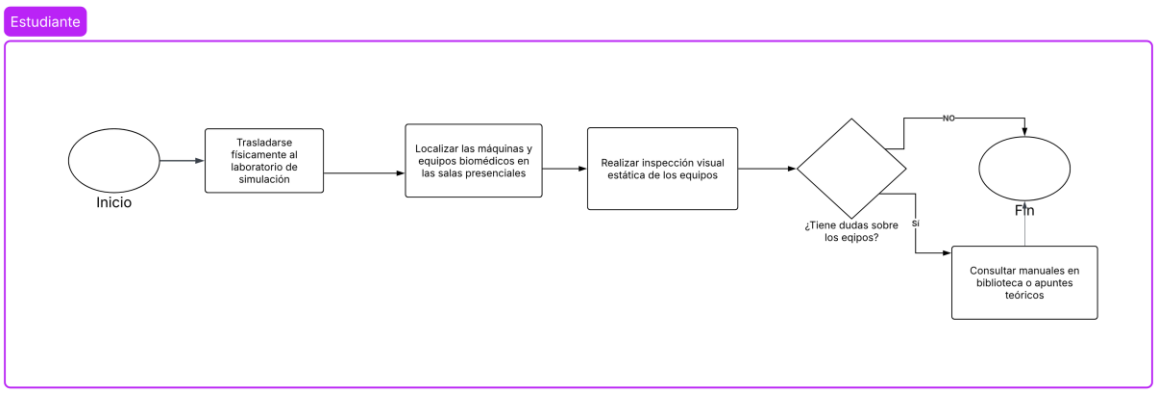


Figura 12. Diagrama de procesos: Inspección visual de equipos médicos en laboratorio físico

En la Figura 12 se detalla el flujo tradicional de la práctica, el cual inicia con el traslado presencial del estudiante al laboratorio/hospital para localizar e inspeccionar visualmente de forma estática los equipos clínicos. Posteriormente, el proceso incorpora una compuerta exclusiva que confirma si el alumno presenta dudas sobre el instrumental. En caso afirmativo (Sí), se desvía el camino hacia la consulta de manuales y apuntes teóricos antes de avanzar, mientras que en caso negativo (No), el flujo progresa de manera directa hacia el evento de fin que da por concluida la actividad formativa presencial.

3.1.2 Requerimientos funcionales y no funcionales

El levantamiento de requerimientos constituye la base fundamental para el éxito del proyecto, ya que permite delimitar con precisión el alcance y las capacidades de la solución propuesta. En esta sección se detallan, en primera instancia, los Requerimientos Funcionales, los cuales describen las acciones, comportamientos y servicios específicos que el sistema debe ejecutar para satisfacer las necesidades de los usuarios. Por otro lado, se establecen los Requerimientos No Funcionales, que se centran en las propiedades emergentes del sistema, tales como el rendimiento, la seguridad de la información, la integridad de los datos y la calidad de la experiencia de usuario. La correcta identificación de ambos grupos asegura que la herramienta no solo cumpla con sus objetivos pedagógicos de familiarización técnica en el entorno hospitalario, sino que también opere bajo estándares de eficiencia, confiabilidad y protección de la información académica.

- ***Alcance del sistema***

El sistema de realidad virtual permitirá tanto a estudiantes como docentes visualizar e interactuar con el entorno de una UCI, facilitando el reconocimiento espacial y la identificación de los equipos biomédicos esenciales en este servicio. La plataforma posibilitará que el usuario explore el área crítica de forma inmersiva, permitiendo observar equipos como ventiladores mecánicos, monitores de signos vitales y bombas de infusión, sirviendo como una herramienta de apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

- ***Funcionalidades del producto***

Visualización del escenario clínico UCI

Interacción con equipos biomédicos

Gestión de acceso y perfiles

Administración de sesiones

Navegación y desplazamiento inmersivo

- ***Características de los usuarios***

En la Tabla 5, se describen los perfiles de usuario que interactúan con el ecosistema tecnológico. El grupo de estudiantes está orientado a la exploración inmersiva y el reconocimiento de equipos biomédicos en la sala UCI, mientras que el docente asume un rol administrativo y de supervisión a través de la plataforma web.

Tabla 5. Características de los usuarios

Usuario	Descripción
Estudiante	Ingreso a la simulación de realidad virtual UCI.
Docente	Ingreso a la simulación de realidad virtual UCI. Ingreso al sistema web de administración de la sala UCI.
Administrador	Ingreso a la simulación de realidad virtual UCI. Ingreso al sistema web de administración de la sala UCI. Gestión de Roles

a. Requerimientos funcionales

Para el análisis de los requerimientos funcionales y no funcionales, se han seguido los lineamientos dados en la norma ISO 29148:2018, la cual proporciona reglas actualizadas para la especificación técnica, asegurando que cada funcionalidad sea necesaria, verificable y trazable.

- **Realidad virtual**

En la Tabla 6 se especifica el requisito funcional de la configuración espacial del entorno 3D. Este componente es indispensable ya que constituye el punto de partida físico del simulador, permitiendo que el motor gráfico Unity ordene y renderice de forma estable la infraestructura de la sala UCI, el pasillo y los activos clínicos bajo un formato optimizado. De este modo, se asegura que el entorno virtual represente con total realismo la distribución de una unidad de cuidados críticos real antes de habilitar cualquier lógica de interacción o autenticación para el estudiante.

Tabla 6. Requisito funcional: Configuración espacial del entorno 3D.

ID	RF-01
Tipo	Configuración de escena / infraestructura
Prioridad	Alta
Descripción	El sistema debe cargar y renderizar de forma estable el escenario tridimensional de la sala UCI y el pasillo de acceso, organizando el mobiliario y los activos clínicos según la distribución hospitalaria real.
Entrada	Inicialización de la aplicación en el visor y lectura de las jerarquías de objetos en Unity 3D.
Proceso	Instanciar los modelos arquitectónicos de la sala y el pasillo en el espacio virtual. Cargar las mallas estructurales de los equipos biomédicos en sus posiciones estáticas correspondientes. Configurar los componentes de colisión física (Mesh/Box Colliders) en el mobiliario clínico. Aplicar técnicas de optimización y reducción poligonal para mantener el rendimiento visual.
Salidas	Entorno inmersivo base integrado, fluido y preparado para desplegar los componentes de interacción y lógica del simulador.

En la Tabla 7, se describe el proceso de autenticación dentro del entorno inmersivo. Este requerimiento es fundamental para asegurar que solo los usuarios registrados en la base de datos centralizada del proyecto puedan acceder a las simulaciones, garantizando la integridad de la información y la asignación correcta de roles académicos.

Tabla 7. Requisito funcional: Inicio de sesión en VR.

ID	RF-02
Tipo	Autenticación
Prioridad	Alta
Descripción	El sistema debe presentar un panel de inicio de sesión dentro del entorno virtual para que el estudiante o docente ingrese sus credenciales institucionales.
Entrada	Correo institucional y contraseña ingresados mediante un teclado virtual en RV.
Proceso	Capturar los datos del teclado virtual. Validar las credenciales contra la base de datos centralizada (PostgreSQL).

ID	RF-02
	Verificar el rol del usuario para habilitar el acceso.
Salidas	Validación exitosa y transición al área de acceso (Pasillo).

Con respecto a la Tabla 8, se detalla la lógica de navegación inicial. Este componente permite que el estudiante, tras autenticarse, sea ubicado en un área de transición o pasillo, proporcionando un punto de decisión donde puede seleccionar la sala de cuidados críticos u otros entornos disponibles, simulando la distribución de un centro hospitalario real.

Tabla 8. Requisito funcional: Navegación de acceso.

ID	RF-03
Tipo	Navegación
Prioridad	Alta
Descripción	Tras el inicio de sesión, el avatar aparecerá en un pasillo central donde podrá elegir entrar a la Sala UCI u otras salas de simulación disponibles.
Entrada	Desplazamiento del avatar hacia la puerta o portal de la sala deseada.
Proceso	Detectar la colisión o interacción con la entrada de la "Sala UCI". Cargar el escenario inmersivo de cuidados críticos correspondiente.
Salidas	Carga de la sala de simulación seleccionada.

En la Tabla 9, se especifica el sistema de control de movimiento. Este requisito garantiza que el avatar pueda desplazarse libremente por los escenarios, proporcionando una experiencia en primera persona que favorece el reconocimiento espacial de la infraestructura clínica y la familiarización con las dimensiones de una unidad de cuidados intensivos.

Tabla 9. Requisito funcional: Desplazamiento libre del usuario.

ID	RF-04
Tipo	Control de movimiento
Prioridad	Alta
Descripción	El sistema debe permitir que el avatar camine, gire y retroceda libremente tanto en el pasillo como dentro de las salas de simulación.
Entrada	Comandos de movimiento mediante los controladores del visor (Joysticks).
Proceso	Traslación de la posición de la cámara y el avatar en el espacio tridimensional.

ID	RF-04
Salidas	Movimiento fluido del estudiante por el entorno clínico.

En la Tabla 10, se establece la interacción informativa con los dispositivos médicos. Este requerimiento permite que el entorno no sea puramente visual, sino educativo, al facultar al estudiante para obtener datos técnicos y características funcionales de equipos críticos, como ventiladores y monitores, mediante el uso de los controladores del visor.

Tabla 10. Requisito funcional: Interacción informativa con equipos.

ID	RF-05
Tipo	Interacción
Prioridad	Alta
Descripción	Dentro de la UCI, el estudiante podrá seleccionar equipos biomédicos para visualizar una ficha técnica con sus características.
Entrada	Selección de un equipo (Ventilador, Monitor, etc.) mediante el controlador.
Proceso	Consultar y desplegar el contenido informativo asociado al modelo 3D seleccionado.
Salidas	Despliegue ficha informativa legible dentro de la realidad virtual.

En la Tabla 11, se detalla el proceso de Cierre de Sesión en Realidad Virtual. Este requerimiento es esencial para garantizar que la sesión del usuario no quede activa en el dispositivo tras finalizar la práctica, permitiendo que el visor quede disponible para un nuevo estudiante y asegurando que los datos de la sesión se cierren correctamente.

Tabla 11. Requisito funcional: Cierre de sesión y salida en VR.

ID	RF-06
Tipo	Control de sesión
Prioridad	Alta
Descripción	El sistema debe permitir al usuario cerrar su sesión activa y salir del entorno virtual de la UCI para regresar al inicio de sesión.
Entrada	Interacción con el botón "Cerrar Sesión" en el menú de pausa en RV.
Proceso	Invalidar el token de autenticación actual. Detener los procesos de sincronización de datos con el backend. Cargar la escena de inicio de sesión.
Salidas	Sesión finalizada y regreso a la pantalla de bienvenida de la VR.

- **Plataforma Web**

En Tabla 12, se describe el proceso de registro de usuarios. Esta funcionalidad es el punto de partida del ecosistema, permitiendo capturar los datos académicos de estudiantes y docentes, aplicando protocolos de cifrado para proteger la información sensible desde el origen.

Tabla 12. Requisito funcional: Registro de usuarios en la web.

ID	RF-07
Tipo	Gestión de usuarios
Prioridad	Alta
Descripción	Gestionar el registro de nuevos estudiantes y docentes, validando los datos ingresados para almacenarlos de forma segura en la base de datos centralizada.
Entrada	Formulario con nombres, apellidos, correo institucional, contraseña y rol (Docente/Estudiante).
Proceso	Validar la integridad de los campos obligatorios. Encriptación / hashing a la contraseña. Almacenar el registro en la base de datos.
Salidas	Usuario creado exitosamente y mensaje de confirmación en la interfaz.

Con respecto a la Tabla 13, se detalla el control del registro estudiantil. Este componente faculta al docente para supervisar los perfiles académicos que están habilitados para consumir los endpoints de la API desde la aplicación de realidad virtual.

Tabla 13. Requisito funcional: Gestión de Alumnos.

ID	RF-08
Tipo	Gestión de alumnos
Prioridad	Alta
Descripción	Proporcionar una interfaz donde el docente/administrador pueda listar, buscar, editar y eliminar los perfiles de los estudiantes de enfermería registrados en el ecosistema.
Entrada	Petición de carga de datos al acceder a la sección de alumnos además de filtros de búsqueda por nombre y la selección de registro para edición o eliminación.
Proceso	Consultar de forma síncrona los registros de usuarios con rol de estudiante en PostgreSQL. Renderizar dinámicamente el listado en la interfaz responsiva de React.

ID	RF-08
	.
Salidas	Despliegue de la tabla de estudiantes con su información académica actualizada.

En la Tabla 14, se especifica la administración global del módulo de entornos virtuales. Este requerimiento permite al docente operar un CRUD completo sobre las salas, gestionando su disponibilidad operativa de forma directa sobre la base de datos.

Tabla 14. Requisito funcional: Gestión de salas de simulación

ID	RF-09
Tipo	Gestión de salas
Prioridad	Alta
Descripción	Permitir al docente/administrador crear, leer, actualizar y eliminar las salas virtuales del ecosistema educativo.
Entrada	Formulario web con los campos obligatorios: Nombre de la sala y Descripción del entorno clínico.
Proceso	Validar la integridad de los campos obligatorios. Procesar las inserciones, lecturas, modificaciones o bajas en la base de datos (Operaciones CRUD de salas).
Salidas	Actualización inmediata del registro de salas en la interfaz web y persistencia en la base de datos.

Con respecto a la Tabla 15, se detalla la administración técnica del inventario biomédico. Este componente asocia cada instrumento a un espacio físico y le asigna la clave criptográfica de emparejamiento gráfico para habilitar la interactividad didáctica.

Tabla 15. Requisito funcional: Gestión de equipos médicos

ID	RF-10
Tipo	Gestión equipos
Prioridad	Media
Descripción	Permitir al docente/administrador gestionar mediante un CRUD los datos técnicos, relaciones de entorno y llaves de vinculación de los dispositivos clínicos.
Entrada	Formulario web con los campos obligatorios: Nombre del equipo, Sala relacionada y clave de emparejamiento gráfico (UnityTag Match) y descripción del equipo.

ID	RF-10
Proceso	Validar la integridad de los campos y la selección de la sala relacionada. Procesar las inserciones, lecturas, modificaciones o bajas en la base de datos (Operaciones CRUD de equipos).
Salidas	Actualización inmediata del inventario de equipos biomédicos en la interfaz web y persistencia en la base de datos.

Con respecto a la Tabla 16, se especifica el requerimiento de Recuperación de Contraseña. Dado que la gestión de cuentas es centralizada en la plataforma web, este proceso permite a los estudiantes y docentes restablecer sus credenciales de acceso de forma segura en caso de olvido, utilizando su correo institucional como canal de validación.

Tabla 16. Requisito funcional: Recuperación de contraseña web

ID	RF-11
Tipo	Gestión de cuenta
Prioridad	Media
Descripción	Proporcionar un mecanismo seguro en la plataforma web para que el usuario restablezca su contraseña mediante la verificación de su correo institucional.
Entrada	Formulario web de solicitud con el campo obligatorio: Correo electrónico institucional del usuario (@uta.edu.ec).
Proceso	Verificar la existencia del correo en la base de datos. Generar un token temporal de recuperación con tiempo de expiración. Enviar un enlace de restablecimiento al correo del usuario. Actualizar la contraseña en la base de datos tras la validación del token.
Salidas	Contraseña actualizada exitosamente y acceso restaurado para la Web y RV.

En la Tabla 17, se describe el proceso de Cierre de Sesión en la plataforma Web. Esta función garantiza la caducidad y destrucción de los tokens de autenticación del navegador local una vez que el docente o estudiante finaliza su actividad en el entorno de gestión.

Tabla 17. Requisito funcional: Cierre de sesión web

ID	RF-12
Tipo	Control de sesión
Prioridad	Media
Descripción	Permitir al usuario web destruir de forma segura su sesión activa para evitar accesos no autorizados en terminales compartidas.
Entrada	Interacción con la opción "Cerrar sesión" en la barra de navegación del Dashboard.
Proceso	Eliminar el token JWT almacenado localmente (Local Storage). Invalidar los permisos de ruta del cliente web. Redireccionar al usuario hacia la pantalla de inicio de sesión (Login).
Salidas	Destrucción de la sesión y redirección exitosa a la vista de autenticación.

b. Requerimientos no funcionales

Bajo los lineamientos de la norma ISO 29148:2018, se definen los atributos de calidad y restricciones técnicas que garantizan la integridad, seguridad y eficiencia del ecosistema digital.

En la Tabla 18, se garantiza la protección de la información académica mediante algoritmos de cifrado en los campos sensibles, asegurando que los datos personales de estudiantes y docentes de la Universidad Técnica de Ambato permanezcan privados.

Tabla 18. Requisito no funcional: Seguridad del cifrado

ID	RNF-01
Tipo	Seguridad
Prioridad	Alta
Descripción	Protección de credenciales y campos sensibles mediante hashing y cifrado AES 256.
Entrada	Credenciales de usuario y datos personales.
Proceso	Generación de Hash para contraseñas y cifrado de datos sensibles antes del almacenamiento en la base de datos.
Salidas	Información protegida en reposo y tránsito.

En la Tabla 19, se controla el acceso al sistema mediante la validación de roles, permitiendo que las funcionalidades del sistema web y del simulador de realidad virtual se restrinjan según el perfil del usuario autenticado.

Tabla 19. Requisito no funcional: Seguridad al acceso

ID	RNF-02
Tipo	Seguridad
Prioridad	Alta
Descripción	Control de acceso basado en roles (Docente/Estudiante) mediante el uso de tokens de sesión.
Entrada	Token de autenticación y rol de usuario.
Proceso	Verificación de permisos en el middleware antes de habilitar el acceso a salas o dashboards.
Salidas	Acceso autorizado o denegado según jerarquía.

En la Tabla 20, se asegura la disponibilidad del servicio ante múltiples solicitudes concurrentes, permitiendo que el backend gestione eficazmente las conexiones desde los visores de realidad virtual y la plataforma web.

Tabla 20. Requisito no funcional: Disponibilidad

ID	RNF-03
Tipo	Disponibilidad
Prioridad	Media
Descripción	El sistema debe mantener la continuidad del servicio ante solicitudes simultáneas de acceso a la simulación.
Entrada	Peticiones concurrentes desde múltiples clientes (Web/RV).
Proceso	Implementación de un pool de conexiones y manejo eficiente de hilos en el servidor.
Salidas	Respuesta consistente del sistema sin degradación del servicio.

En la Tabla 21, se define el estándar de rendimiento visual necesario para la simulación inmersiva, asegurando la fluidez del entorno para evitar malestares físicos en el usuario durante la práctica de enfermería.

Tabla 21. Requisito no funcional: Rendimiento visual en RV

ID	RNF-04
Tipo	Rendimiento
Prioridad	Alta
Descripción	La simulación debe mantener una tasa estable de cuadros por segundo (FPS) para garantizar el confort del usuario.
Entrada	Procesamiento de escenas en el motor gráfico.
Proceso	Optimización de poligonaje en modelos 3D de la UCI y gestión eficiente de recursos en el visor.
Salidas	Tasa mínima de 72 FPS para prevenir la cinetosis (mareo).

En la Tabla 22, se establece la compatibilidad de la interfaz web, permitiendo que el docente pueda gestionar la plataforma desde diversos navegadores y dispositivos de forma responsiva.

Tabla 22. Requisito no funcional: Compatibilidad de interfaz

ID	RNF-05
Tipo	Compatibilidad
Prioridad	Media
Descripción	El dashboard administrativo debe ser funcional y adaptable a diferentes resoluciones de pantalla.
Entrada	Acceso desde distintos navegadores web.
Proceso	Aplicación de estilos responsivos y componentes adaptativos.
Salidas	Interfaz de usuario consistente y accesible.

3.1.3 Historias de usuario

Las historias de usuario constituyen narraciones breves y conceptuales que describen las capacidades operativas y los atributos específicos que debe incorporar el sistema tecnológico. El propósito central de estas especificaciones es estructurar las necesidades del entorno virtual desde una perspectiva funcional, garantizando que el diseño arquitectónico de la plataforma y el desarrollo interactivo aporten un valor didáctico directo a la experiencia de aprendizaje del usuario final.

a. Realidad virtual

En la Tabla 23 se describe la historia de usuario enfocada en la construcción y ensamble del entorno clínico 3D. Esta especificación es clave dentro de la planificación de la metodología XP, ya que detalla cómo se importan y organizan jerárquicamente todos los elementos visuales y estructurales de la sala UCI y el pasillo dentro de Unity. Su importancia radica en que define las reglas técnicas para el correcto posicionamiento de los objetos y la asignación de sus colisionadores físicos, asegurando que la escena inmersiva base quede completamente optimizada y lista para interactuar antes de pasar a las etapas de programación de scripts.

Tabla 23. Historia de usuario: Construcción y ensamble del entorno clínico 3D

Historia de usuario	
Número: 1	Usuario: Estudiante/Docente
Nombre: Construcción y ensamble del entorno clínico 3D	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Alto	Iteración asignada: 1
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El sistema debe integrar el escenario tridimensional de la sala UCI y del pasillo de acceso, asegurando el correcto posicionamiento espacial de la infraestructura y el mobiliario médico para el reconocimiento del alumno.	
Observación: Requiere la importación, organización jerárquica y optimización de los modelos Low-poly dentro del motor gráfico Unity 3D.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que se tienen los modelos tridimensionales optimizados, cuando se inicialice el proyecto en Unity, el sistema debe permitir estructurar la escena de la Sala UCI respetando las dimensiones y distribución real de una unidad de cuidados críticos. **Criterio 2:** Dado que los activos biomédicos están posicionados en la escena, el desarrollador debe verificar que tengan activos sus colisionadores físicos (Colliders) para que queden listos para recibir los rayos de interacción del simulador.	

En la Tabla 24, se detalla la historia de usuario correspondiente al inicio de sesión dentro del entorno de realidad virtual. Este requerimiento constituye el primer control de acceso al ecosistema inmersivo, siendo un componente crítico para salvaguardar la integridad de los datos académicos y asegurar que únicamente los usuarios autorizados vinculen su identidad institucional con la sesión de simulación clínica.

Desde una perspectiva técnica, el proceso de autenticación exige una sincronización asíncrona entre el motor Unity 3D y el servidor backend en NestJS, utilizando una base de datos relacional PostgreSQL para la validación de credenciales. La implementación de un panel interactivo con teclado virtual permite que el estudiante o docente valide sus permisos de forma segura sin abandonar el entorno inmersivo, garantizando que el sistema capture las entradas de texto y ejecute la validación de identidad en tiempo real.

Tabla 24. Historia de usuario: Inicio de sesión

Historia de usuario	
Número: 2	Usuario: Estudiante/Docente
Nombre: Historia: Inicio de Sesión en el sistema	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Alto	Iteración asignada: 1
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El estudiante o docente debe poder iniciar sesión mediante un panel interactivo dentro del entorno virtual introduciendo sus credenciales institucionales de manera segura.	
Observación: El sistema debe capturar las entradas del teclado virtual y validar síncronamente contra la base de datos relacional PostgreSQL.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el usuario ingrese su correo institucional y contraseña de forma correcta en el teclado virtual, cuando presione el botón de Ingresar, el sistema deberá validar sus datos en el backend y permitir el ingreso al pasillo de acceso hospitalario. Criterio 2: Dado que el usuario ingrese credenciales erróneas o campos vacíos, cuando intente validar la información, el sistema denegará el acceso y desplegará un mensaje de error dentro del entorno de realidad virtual.	

En la Tabla 25, se detalla la historia de usuario referente a la navegación de acceso inicial en el sistema. Esta funcionalidad define el flujo de transición del estudiante una vez autenticado, posicionándolo en un entorno de preparación intermedia (pasillo central hospitalario) que actúa como un nodo de selección de escenarios. Este diseño arquitectónico es vital para la gestión eficiente de los recursos del motor gráfico, evitando la carga simultánea de múltiples entornos complejos y priorizando la optimización del rendimiento en las Meta Quest 3.

La navegación se sustenta en la detección de colisiones espaciales, donde el middleware físico del motor gráfico actúa como disparador de la carga de escenas. Esta arquitectura permite que la transición a la UCI ocurra únicamente tras el cruce físico del umbral por parte del usuario, asegurando un despliegue asíncrono eficiente. Este mecanismo de control fomenta un flujo de navegación orgánico, manteniendo la estabilidad del entorno mientras el estudiante transita desde el área de preparación hacia la simulación clínica.

Tabla 25. Historia de usuario: Navegación de acceso

Historia de usuario	
Número: 3	Usuario: Estudiante
Nombre: Navegación de acceso inicial	Prioridad: Media
Riesgo de Desarrollo: Medio	Iteración asignada: 2
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El estudiante, tras autenticarse, debe ser ubicado en un pasillo central para elegir el ingreso a la sala UCI mediante colisiones mecánicas reales.	
Observación: El entorno debe gestionar la proximidad del avatar con los portales espaciales de la puerta para cargar la escena clínica correspondiente.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el avatar se encuentra en el pasillo exterior, cuando se desplace y cruce deliberadamente el umbral de las compuertas principales de la Unidad de Cuidados Intensivos, el motor Unity deberá detectar la colisión mecánica y cargar de manera fluida la escena tridimensional de la sala clínica. **Criterio 2:** Dado que el estudiante permanezca explorando el pasillo sin interactuar o cruzar el portal de acceso de la puerta, el sistema mantendrá al usuario en la zona de preparación intermedia sin activar la transición hacia el entorno crítico.	

En la Tabla 26, se detalla la historia de usuario correspondiente al control de desplazamiento libre en primera persona. Este requerimiento es fundamental para fomentar el reconocimiento espacial del entorno UCI, permitiendo que el estudiante explore la infraestructura hospitalaria de forma autónoma y ergonómica. La capacidad de caminar, girar y retroceder mediante los joysticks analógicos de las Meta Quest 3 transforma al usuario de un observador pasivo en un participante activo, facilitando una cartografía mental del espacio crítico que resulta imposible de replicar con recursos didácticos tradicionales.

El sistema procesa la traslación del avatar mediante el middleware de interacción de Unity, traduciendo comandos físicos en vectores de movimiento fluidos. Un aspecto crítico es la detención inmediata ante el cese del joystick, lo cual garantiza la estabilidad visual y previene la cinetosis. Esta respuesta precisa optimiza la familiarización espacial del estudiante con las dimensiones reales de la UCI, permitiéndole navegar con la seguridad necesaria para su desempeño profesional.

Tabla 26. Historia de usuario: Desplazamiento libre

Historia de usuario	
Número: 4	Usuario: Estudiante
Nombre: Control de movimiento en primera persona	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Medio	Iteración asignada: 2
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El estudiante debe poder caminar, girar y retroceder libremente por los escenarios virtuales utilizando los joysticks analógicos de los controladores del visor.	
Observación: El motor Unity procesa los comandos de traslación de la cámara para permitir un reconocimiento espacial completo del entorno UCI	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el usuario manipula los joysticks analógicos de los controladores de las Meta Quest 3, cuando ejecute movimientos hacia adelante, atrás o los lados, el motor Unity deberá desplazar y rotar la cámara del avatar en primera persona de manera fluida y continua por todo el escenario. **Criterio 2:** Dado que el estudiante deje de presionar los joysticks de los controladores, el sistema debe detener la traslación de la cámara de manera inmediata, manteniendo la estabilidad de la imagen en la posición exacta alcanzada dentro de la sala virtual para evitar problemas de desorientación.	

En la Tabla 27, se especifica la historia de usuario dedicada a la interacción informativa con los activos biomédicos. Esta funcionalidad es el núcleo didáctico del simulador, pues permite que el estudiante trascienda la mera observación visual para acceder a información técnica detallada mediante una interfaz interactiva. Su implementación es clave para reducir la carga cognitiva, al centralizar el conocimiento sobre las funciones de cada equipo directamente en su contexto físico.

Para implementar esta función, el motor Unity ejecuta un proceso de Raycast en tiempo real que detecta la colisión entre el puntero del controlador y los equipos biomédicos, activando de forma asíncrona el lienzo tridimensional (Canvas World Space). Este diseño optimiza la experiencia mediante una gestión inteligente de la interfaz: los paneles se ocultan automáticamente al cesar la colisión, evitando la saturación informativa y manteniendo un entorno despejado. De esta manera, se garantiza una interacción ergonómica, precisa y ajustada a los criterios de usabilidad exigidos en un entorno clínico virtual.

Tabla 27. Historia de usuario: Interacción informativa con equipos

Historia de usuario	
Número: 5	Usuario: Estudiante
Nombre: Interacción y despliegue de fichas técnicas	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Alto	Iteración asignada: 3
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El estudiante dentro de la sala debe poder apuntar a un equipo biomédico mediante el controlador para desplegar una interfaz informativa sobre el modelo 3D.	
Observación: Requiere el procesamiento de rayos interactivos (Raycast) que activen lienzos tridimensionales flotantes de manera fluida y legible.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el estudiante se encuentra dentro de la sala UCI, cuando apunte con el controlador hacia un equipo biomédico y el sistema detecte la colisión del Raycast, el lienzo tridimensional (Canvas World Space) correspondiente a ese equipo deberá activarse de forma inmediata y flotar de manera legible sobre el modelo 3D. **Criterio 2:** Dado que el estudiante desvíe el puntero del controlador fuera del área de colisión del equipo biomédico o apunte hacia un espacio vacío, el sistema deberá ocultar automáticamente la interfaz flotante para mantener limpio el campo visual del entorno clínico.	

En la Tabla 28, se define la historia de usuario para el cierre de sesión dentro del entorno de realidad virtual. Esta funcionalidad es fundamental para garantizar la disponibilidad del hardware y la seguridad del acceso, permitiendo que el dispositivo quede listo para el siguiente usuario tras finalizar la práctica clínica.

La implementación lógica gestiona la invalidación inmediata de los tokens de autenticación en el backend, asegurando la terminación segura de los procesos de red. Simultáneamente, el motor Unity ejecuta una limpieza de memoria al descargar los recursos de la sala UCI, liberando activos gráficos y recargando la escena inicial de acceso. Este procedimiento riguroso de salida previene fugas de memoria y garantiza que no persistan sesiones activas, cumpliendo así con los protocolos de seguridad requeridos para el uso compartido de visores en los laboratorios de la universidad."

Tabla 28. Historia de usuario: Cierre de sesión en VR

Historia de usuario	
Número: 6	Usuario: Estudiante/Docente
Nombre: Cierre de sesión y salida en VR	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Bajo	Iteración asignada: 4
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El estudiante debe poder cerrar su sesión activa y salir del entorno virtual de la UCI para regresar a la interfaz de inicio de sesión.	
Observación: Al activar el evento de salida se debe invalidar el token de autenticación actual y descargar de la memoria los procesos de red con el backend.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el usuario decide finalizar su sesión dentro del simulador, cuando interactúe con el botón de salida en el menú virtual, el sistema deberá invalidar de inmediato el token de autenticación activa y limpiar los subprocesos de red abiertos con la base de datos. **Criterio 2:** Dado que los procesos de red y autenticación han sido cerrados con éxito en el backend, el motor Unity deberá descargar de la memoria los assets de la sala clínica y recargar de forma automática la escena del panel interactivo de inicio de sesión inicial.	

*b. **Plataforma web***

En la Tabla 29 se detalla la historia de usuario para el inicio de sesión en la plataforma web, mecanismo que actúa como pilar fundamental de la seguridad del ecosistema digital de la Universidad Técnica de Ambato. Este requerimiento regula el acceso al dashboard administrativo, estableciendo las reglas para la validación de credenciales institucionales y asegurando que cada docente o estudiante interactúe exclusivamente con los módulos de gestión correspondientes a su rol asignado.

El proceso de autenticación se apoya en una arquitectura backend robusta que ejecuta la validación síncrona de datos, la verificación del hash de la contraseña y la emisión de JSON Web Tokens (JWT) para gestionar sesiones seguras en el cliente. Este flujo, desarrollado con NestJS y React, garantiza una comunicación cifrada y el control de acceso basado en privilegios.

Tabla 29. Historia de usuario: Inicio de sesión en plataforma web

Historia de usuario	
Número: 7	Usuario: Docente / Adminsitrador
Nombre: Inicio de sesión en plataforma web	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Medio	Iteración asignada: 1
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El usuario debe poder ingresar sus credenciales institucionales (correo y contraseña) en la interfaz web para autenticarse y acceder de manera segura al dashboard de la plataforma.	
Observación: Requiere la validación síncrona de datos en el backend, verificación de la firma del hash de la contraseña y la generación de un token JWT para la gestión de sesiones en el cliente.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el usuario ingresa sus credenciales válidas y registradas en el formulario de login, cuando presione el botón de ingresar, el backend debe validar la información, emitir un token JWT de sesión seguro y la interfaz en React debe redireccionarlo automáticamente al dashboard Criterio 2: Dado que el usuario introduce credenciales incorrectas, inexistentes o deja campos obligatorios vacíos, cuando intente iniciar sesión, el sistema denegará la autenticación en el servidor y la interfaz web mostrará un mensaje de alerta informativo indicando el error de acceso sin dar detalles específicos de seguridad.	

En la Tabla 30, se detalla la historia de usuario para el registro de nuevos perfiles en la plataforma web. Esta funcionalidad es esencial para la creación del ecosistema de usuarios, permitiendo que tanto estudiantes como docentes generen sus cuentas institucionales mediante un formulario estructurado. Este módulo garantiza que el almacenamiento de la información sea íntegro desde el momento del alta, estableciendo una relación directa entre los datos personales y las credenciales de acceso.

El desarrollo de este proceso integra validaciones en doble capa para asegurar la calidad de la información: en el frontend mediante la detección de campos vacíos o formatos incorrectos antes de cualquier envío, y en el backend mediante el uso de algoritmos de cifrado AES 256 para las contraseñas. Este enfoque previene la

persistencia de datos malformados en PostgreSQL y blinda las credenciales frente a posibles accesos no autorizados.

Tabla 30. Historia de usuario: Registro de nuevos usuarios

Historia de usuario	
Número: 8	Usuario: Estudiante/Docente
Nombre: Registro de perfiles en plataforma web.	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Medio	Iteración asignada: 1
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El usuario debe poder registrar una cuenta institucional completando los campos obligatorios de identificación y seguridad en la interfaz web.	
Observación: Requiere procesos de validación de campos vacíos en el cliente y hashing criptográfico en el servidor antes de guardar en la Base de Datos.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el usuario completa todos los campos obligatorios del formulario web con datos válidos, cuando presione el botón de registro, el cliente enviará la información al servidor, el cual aplicará encriptción AES 256 a la contraseña antes de guardar el nuevo perfil de forma segura en la base de datos PostgreSQL. **Criterio 2:** Dado que el usuario deje campos obligatorios vacíos o ingrese un formato de correo incorrecto, cuando intente enviar el formulario, la interfazt detendrá el proceso de manera inmediata y mostrará mensajes informativos de validación junto a los campos erróneos sin realizar peticiones al backend.	

En la Tabla 31, se presenta la historia de usuario para la gestión de cuentas estudiantiles, la cual otorga al docente y administrador el control operativo sobre el padrón de usuarios del sistema. Este módulo es indispensable para la auditoría académica, ya que centraliza la administración de los perfiles autorizados para acceder al simulador de la sala UCI, garantizando que el acceso al recurso esté siempre alineado con la nómina vigente de la carrera.

Para evitar errores, el sistema incorpora confirmaciones previas ante cualquier modificación irreversible, protegiendo así la integridad de la base de datos. En conjunto, este módulo simplifica las tareas administrativas del docente y garantiza que la información académica en la plataforma sea siempre confiable y esté permanentemente actualizada."

Tabla 31. Historia de usuario: Gestión de alumnos

Historia de usuario	
Número: 9	Usuario: Docente/Administrador
Nombre: Gestión de cuentas estudiantiles	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Medio	Iteración asignada: 3
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El docente o administrador debe disponer de una sección específica en la plataforma web para consultar el listado de alumnos, actualizar su información académica o dar de baja sus perfiles cuando sea requerido.	
Observación: Al ser un módulo de control sobre registros existentes creados previamente por el usuario mediante el autorregistro, las acciones se limitan a la lectura, modificación y eliminación	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el docente o administrador ingresa a la sección de alumnos, cuando la plataforma realice la petición, la interfaz de React debe renderizar dinámicamente un listado estructurado con la información académica síncrona proveniente de PostgreSQL. **Criterio 2:** Dado que el docente decida modificar o dar de baja el perfil de un estudiante, cuando interactúe con los controles de acción, el sistema debe solicitar una confirmación en pantalla antes de procesar el cambio en el backend y actualizar la persistencia de forma irreversible.	

En la Tabla 32, se describe el módulo para la administración de salas de simulación, diseñado para que el docente controle de forma autónoma los entornos disponibles en el sistema. Esta herramienta permite gestionar el catálogo de escenarios virtuales, habilitando la creación, edición o eliminación de salas según las necesidades pedagógicas de la carrera.

Al igual que en los módulos anteriores, el sistema incluye validaciones de datos para asegurar que cada sala cuente con la información requerida, como su nombre y descripción, antes de ser procesada. Este control garantiza que la oferta de simulaciones sea siempre coherente y esté actualizada, facilitando al docente la organización del entorno de aprendizaje sin depender de modificaciones directas en la base de datos.

Tabla 32. Historia de usuario: Gestión de salas

Historia de usuario	
Número: 10	Usuario: Docente/Administrador
Nombre: Control integral (CRUD) de salas de simulación	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Medio	Iteración asignada: 3
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El docente debe poder crear, consultar, modificar y eliminar salas virtuales dentro del sistema, asignando nombre y descripción descriptiva.	
Observación: Las operaciones se ejecutan directamente sobre la base de datos relacional para actualizar los entornos disponibles.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el docente ingresa los datos obligatorios en el formulario de creación o edición de salas, cuando presione el botón de guardar, el sistema debe validar los campos, procesar la inserción o cambio en la base de datos PostgreSQL y actualizar la tabla de la interfaz web de manera inmediata. **Criterio 2:** Dado que el docente decida eliminar una sala de simulación existente, cuando presione el botón de baja y confirme la acción, el backend debe procesar la solicitud para retirar el registro de la persistencia y la interfaz en React debe remover la sala del listado visual al instante.	

En la Tabla 33, se describe el módulo de gestión técnica del inventario biomédico, herramienta fundamental para vincular la información lógica del sistema con los objetos 3D dentro del entorno virtual. A través de este control, el docente puede asignar a cada equipo clínico una sala específica y una clave de emparejamiento (UnityTag Match), asegurando una conexión exacta entre el inventario web y los modelos representados en Unity.

Este proceso garantiza que cualquier actualización realizada en la base de datos se refleje de forma coherente en el simulador, permitiendo que las interacciones informativas operen correctamente sobre los activos correctos. Al integrar esta gestión técnica en la plataforma administrativa, el docente mantiene el control total sobre la configuración del entorno, asegurando que la suite inmersiva sea precisa, escalable y esté siempre alineada con los estándares de identificación de equipos médicos exigidos en la práctica clínica.

Tabla 33. Historia de usuario: Gestión de equipos médicos

Historia de usuario	
Número: 11	Usuario: Docente/Administrador
Nombre: Control técnico (CRUD) de inventario biomédico	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Alto	Iteración asignada: 3
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El docente debe poder administrar el inventario de dispositivos médicos, asignando el nombre del equipo, la sala correspondiente y el tag de emparejamiento.	
Observación: La variable UnityTag Match vinculada en la base de datos debe emparejarse de forma estricta con la propiedad de las mallas 3D en Unity.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el docente registra o edita un dispositivo médico introduciendo el nombre, seleccionando la sala relacionada y asignando la variable UnityTag Match, cuando guarde el formulario, el sistema debe almacenar los datos en PostgreSQL de forma síncrona y dejar lista la clave para el emparejamiento en Unity. **Criterio 2:** Dado que el docente modifique o elimine un equipo del inventario web, cuando confirme la acción en la interfaz, el backend en NestJS actualizará la persistencia al instante, modificando el comportamiento de las interacciones informáticas la próxima vez que se cargue el entorno virtual.	

En la Tabla 34, se detalla el proceso de restablecimiento seguro de credenciales, una funcionalidad indispensable para garantizar la continuidad operativa de los usuarios dentro del sistema. Ante la eventual pérdida de la clave secreta, esta herramienta permite al estudiante o docente recuperar su acceso de forma autónoma, validando su identidad a través del canal de comunicación oficial de la Universidad Técnica de Ambato.

El mecanismo de seguridad se apoya en la generación de tokens temporales cifrados, los cuales poseen un tiempo de caducidad estricto para impedir intentos de acceso no autorizados. Al validar la solicitud y permitir el registro de una nueva contraseña, el sistema asegura la integridad de la base de datos PostgreSQL sin comprometer la protección de la cuenta. Este flujo, implementado mediante enlaces únicos, simplifica la experiencia del usuario y refuerza la robustez administrativa del ecosistema, al ofrecer una solución eficiente y protegida para la gestión de cuentas.

Tabla 34. Historia de usuario: Recuperación de contraseña

Historia de usuario	
Número: 12	Usuario: Estudiante/Docente
Nombre: Restablecimiento seguro de accesos web.	Prioridad: Media
Riesgo de Desarrollo: Medio	Iteración asignada: 2
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El usuario debe poder ingresar su correo electrónico institucional para solicitar la generación de una contraseña nueva y segura.	
Observación: El backend valida la cuenta y administra tokens temporales cifrados para actualizar de forma íntegra el registro en la persistencia.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el usuario solicita la recuperación con un correo válido, cuando el backend genere el token firmado, el sistema deberá despachar un enlace único (link) a la bandeja de entrada institucional, el cual, al ser pulsado por el usuario, cargará una interfaz web con un formulario seguro para capturar, validar síncronamente y persistir la nueva contraseña en PostgreSQL. **Criterio 2:** Dado que el usuario ingresa un correo electrónico que no existe en la base de datos o que no cumple con el formato institucional, cuando intente procesar la solicitud, el sistema denegará la generación del token y mostrará un mensaje de advertencia en la interfaz de React.	

En la Tabla 35, se describe la historia de usuario para el cierre de sesión en la plataforma web, funcionalidad que garantiza la protección de los datos académicos en entornos de uso compartido. Al destruir los tokens de autenticación almacenados en el navegador, el sistema asegura que la sesión activa finalice por completo, evitando accesos no autorizados posteriores al uso de las terminales.

Desde un punto de vista operativo, este proceso se ejecuta mediante la eliminación de los JWT del almacenamiento local, bloqueando simultáneamente el acceso a las rutas privadas mediante el enrutador de React. Esta acción de limpieza, combinada con la redirección automática al componente de inicio de sesión, blinda la confidencialidad de la información y garantiza que la plataforma mantenga un entorno de gestión académico seguro, íntegro y protegido contra vulnerabilidades de persistencia de sesión."

Tabla 35. Historia de usuario: Cierre de sesión en la web

Historia de usuario	
Número: 13	Usuario: Estudiante/Docente
Nombre: Cierre Sesión	Prioridad: Alta
Riesgo de Desarrollo: Bajo	Iteración asignada: 4
Desarrollador: Gabriel Medina	
Descripción: El usuario debe poder destruir su sesión web en el dashboard para resguardar la confidencialidad de la información académica del sistema.	
Observación: El proceso elimina los tokens JWT persistidos en el almacenamiento local del navegador y redirecciona al componente de login.	
Criterios de aceptación	
Criterio 1: Dado que el usuario se encuentra autenticado en el dashboard web, cuando presione la opción de cierre de sesión, el sistema deberá eliminar por completo los tokens JWT guardados en el almacenamiento local (Local Storage) del navegador web. **Criterio 2:** Dado que el token de sesión ha sido destruido en el cliente, el enrutador de React debe denegar inmediatamente el acceso a las vistas privadas del dashboard y redireccionar de forma automática al usuario hacia el componente de Login inicial.	

3.1.4 Estimación de historias de usuario

Para justificar el puntaje de esfuerzo asignado a cada requerimiento, se procedió a desglosar las Historias de Usuario en tareas técnicas específicas de ingeniería. Siguiendo las directrices de XP para desarrollo, se estimaron los tiempos en horas hombre considerando la complejidad del código en el backend, el diseño de interfaces en el cliente web y la optimización de los componentes interactivos e inmersivos dentro de Unity 3D.

Este desglose granular permite reducir la incertidumbre en la planificación, al asignar métricas de esfuerzo proporcionales al nivel de criticidad de cada componente desarrollado. Asimismo, la estandarización de estas estimaciones facilita el seguimiento de las iteraciones propuestas, asegurando una distribución balanceada de la carga de trabajo técnica durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Tabla 36. Estimación de tiempo detallada para las historias de usuario

N°	Historia de usuario	Tareas	Puntos estimados	Días	Horas
1	Construcción y ensamble del entorno clínico 3D	Diseño global de la base de datos relacional (esquemas, tablas de usuarios, salas e inventarios).	5	1	4
		Modelado tridimensional de la infraestructura física base (paredes, pisos, techos, divisiones clínicas y equipos).	6	1	6
		Importación y optimización geométrica de mallas decorativas y mobiliario hospitalario.	4	1	4
		Organización jerárquica de la escena clínica y distribución espacial dentro del motor gráfico.	4	1	4
		Configuración de colisionadores mecánicos (Colliders) y físicas de entorno en los objetos.	4	1	4
2	Inicio de Sesión en el sistema VR	Desarrollo de endpoints y lógica de auth	4	1	4
		Diseño del panel interactivo y teclado virtual en Unity	4	1	4
		Pruebas de conexión asíncrona con PostgreSQL	3	1	3
3	Navegación de acceso inicial	Configuración y Creación de portales espaciales en el pasillo	3	1	3
		Programación del script de detección de colisiones	3	1	3
		Pruebas de carga asíncrona de la escena UCI	2	1	2
4	Control de movimiento en primera persona	Configuración del componente XROrigin	3	1	3
		Mapeo de joysticks analógicos (Meta Quest)	4	1	4
		Pruebas de estabilidad para mitigar cinetosis	3	1	3
5	Interacción y despliegue de fichas técnicas	Programación del sistema de puntero virtual (Raycast)	5	1	5
		Diseño de interfaces en Canvas World Space	5	1	5
		Pruebas de activación y ocultación de menús	4	1	4

Continua en la siguiente pagina

N°	Historia de usuario	Tareas	Puntos estimados	Días	Horas
6	Cierre de sesión y salida en VR	Lógica de invalidación de token en el cliente	2	1	2
		Script de destrucción de subprocesos de red	2	1	2
7	Inicio de sesión en plataforma web	Diseño de interfaz del formulario frontend de acceso y control de estados de autenticación.	3	1	3
		Validación de campos vacíos en el lado del cliente.	2	1	2
		Lógica backend de comparación de *hashes* de contraseñas y emisión de fichas de acceso firmadas.	4	1	4
		Pruebas de verificación de identidad y manejo de redirecciones a vistas privadas.	3	1	3
8	Registro de perfiles en plataforma web	Diseño y maquetación del formulario frontend responsivo para captura de datos académicos.	3	1	3
		Validación lógica de formatos de entrada y campos obligatorios en el cliente web.	3	1	3
		Implementación de funciones backend de encriptación de credenciales.	4	1	4
9	Gestión de cuentas estudiantiles	Construcción de endpoints backend para solicitudes síncronas de lectura y baja de perfiles.	4	1	4
		Renderizado frontend de tablas de visualización de alumnos y componentes de filtrado.	4	1	4
10	Control integral (CRUD) de salas de simulación	Desarrollo frontend de componentes visuales para la inserción, edición y lectura de salas.	3	1	3
		Lógica backend para procesar transacciones del módulo administrativo.	4	1	4
11	Control técnico (CRUD) de inventario biomédico	Diseño frontend de la interfaz administrativa para emparejamiento de equipos médicos.	4	1	4
		Lógica backend de vinculación e indexación de la variable de	5	1	5

N°	Historia de usuario	Tareas	Puntos estimados	Días	Horas
		sincronización técnica de mallas.			
12	Restablecimiento seguro de accesos web	Desarrollo backend para la generación de enlaces de recuperación únicos y caducidad temporal.	4	1	4
		Configuración lógica para el despacho simulado de notificaciones al correo institucional.	3	1	3
		Diseño frontend de la vista exclusiva para el cambio y confirmación de la clave nueva.	4	1	4
13	Cierre de sesión en la plataforma web	Frontend para la destrucción de parámetros de identidad en el almacenamiento local.	2	1	2
		Lógica de bloqueo de rutas del cliente para denegar el acceso a vistas privadas.	2	1	2

3.1.5 Plan de entregas

El plan de entregas constituye la hoja de ruta estratégica para la ejecución del proyecto bajo un enfoque incremental. Su propósito es organizar las funcionalidades del sistema en bloques de trabajo lógicos, denominados iteraciones, que permiten el desarrollo, validación y despliegue progresivo de los componentes de software. Mediante esta estructura, se define la secuencia temporal necesaria para integrar los elementos del entorno inmersivo con las herramientas de gestión administrativa, garantizando que el cumplimiento de los objetivos técnicos se logre de forma ordenada, controlada y dentro de los plazos establecidos.

Esta planificación permite además identificar dependencias críticas entre módulos, facilitando la gestión proactiva de posibles cuellos de botella técnicos durante el ciclo de vida del desarrollo. Asimismo, al dividir el proyecto en entregas parciales, se fomenta la adaptabilidad ante cambios imprevistos sin comprometer la integridad estructural de la arquitectura propuesta.

Tabla 37. Cronograma y plan de entregas del sistema por iteraciones

N°	Historia de usuario	Tiempo estimado		Iteración asignada			
		Días	Horas	1	2	3	4
1	Construcción y ensamble del entorno clínico 3D	2.75	22	X			
2	Inicio de Sesión en el sistema VR	1.00	8	X			
3	Inicio de sesión en plataforma web	1.13	9	X			
4	Registro de perfiles en plataforma web	1.25	10	X			
5	Navegación de acceso inicial	0.75	6		X		
6	Control de movimiento en primera persona	0.88	7		X		
7	Restablecimiento seguro de accesos web	1.38	11		X		
8	Interacción y despliegue de fichas técnicas	1.25	10			X	
9	Gestión de cuentas estudiantiles	1.0	8			X	
10	Control integral (CRUD) de salas de simulación	0.88	7			X	
11	Control técnico (CRUD) de inventario biomédico	1.12	9			X	
12	Cierre de sesión y salida en VR	0.50	4				X
13	Cierre de sesión en la plataforma web	0.50	4				X

3.1.6 Análisis del entorno de desarrollo considerando los requerimientos funcionales y no funcionales

Esta fase constituye el análisis técnico previo a la construcción del software, donde se evalúan las alternativas tecnológicas para garantizar la viabilidad operativa del simulador de la sala UCI y su plataforma web. Para que la elección de cada

componente sea objetiva y auditable, se aplica el Método de Selección por Factores Ponderados, un modelo analítico estandarizado para la toma de decisiones en ingeniería de software basado en la priorización de requerimientos como se menciona en [34]. La determinación de los pesos porcentuales asignados a los criterios de evaluación y las puntuaciones de las alternativas en todas las categorías (Motores, Lenguajes, Hardware, Herramientas 3D, Arquitecturas, Bases de Datos y Frameworks) no es arbitraria. Estas se rigen bajo los lineamientos de la norma internacional ISO/IEC/IEEE 29148:2018 para la ingeniería de requisitos, clasificando los impactos técnicos en tres niveles de prioridad general:

Rendimiento Crítico, Seguridad y Viabilidad Tecnológica (Pesos del 35% al 40%): Pondera los atributos indispensables que garantizan la estabilidad y el funcionamiento base del ecosistema. En el entorno inmersivo, evalúa la optimización para mantener tasas de refresco óptimas (mínimo 72 FPS nativos) que mitiguen la cinetosis o mareo por desfase sensorial en el estudiante. En los componentes de backend y bases de datos, regula factores vitales como el control de roles (Docente/Estudiante), la centralización de la autenticación y la detección de errores mediante tipado fuerte en tiempo de compilación para mitigar fallos en el intercambio de datos.

Fidelidad Técnica, modularidad y Usabilidad (Pesos del 20% al 30%): Mide la eficiencia operativa de las herramientas para construir una solución interactiva y escalable. Abarca desde la reducción poligonal de mallas 3D (Low-poly) y la nitidez visual para interpretar constantes biomédicas, hasta la velocidad de respuesta de la interfaz de usuario (UI) en el dashboard web, el soporte de almacenamiento seguro para la gestión de credenciales y el modularidad basado en componentes para futuras expansiones del sistema.

Mantenibilidad, Sostenibilidad y Despliegue Universitario (Pesos del 10% al 20%): Evalúa la viabilidad logística, la facilidad de mantenimiento de código y la infraestructura requerida para el despliegue dentro de los laboratorios multifuncionales de la Universidad Técnica de Ambato (UTA). Prioriza las tecnologías de código abierto (Open Source) o estándares de alta documentación y comunidad para garantizar la permanencia y replicabilidad del proyecto a largo plazo sin costos adicionales de licenciamiento.

Para garantizar la homogeneidad matemática y eliminar sesgos subjetivos, se establece una escala de valoración cuantitativa absoluta del 1 al 5 fundamentada en el grado de cumplimiento técnico del componente. Bajo este criterio estructurado, una calificación de 5 (Óptimo) indica que la herramienta ofrece soporte nativo directo, documentación exhaustiva y máximo rendimiento sin requerir información externa. Se continua con una valoración de 4 (Muy Bueno) refleja un cumplimiento eficiente que puede exigir configuraciones o plugins adicionales para su integración. Mientras que el nivel 3 (Aceptable) señala que la tecnología satisface el requisito funcional básico, pero exhibe limitaciones conocidas en entornos productivos o de simulación. Por el contrario, una puntuación de 2 (Deficiente) implica un cumplimiento marginal que demanda un sobreesfuerzo de codificación, y finalmente, el nivel 1 (No Cumple) se asigna ante la incompatibilidad absoluta o carencia de las librerías necesarias.

El puntaje final de cada alternativa se obtiene mediante la fórmula de la suma de productos:

$$\boldsymbol{Puntaje} = \sum(\boldsymbol{Calificación} * \boldsymbol{Peso}) \qquad (\mathbf{2})$$

Este enfoque cuantitativo garantiza que la herramienta elegida en cada matriz sea la que mejor rinde en los aspectos más críticos para el proyecto, priorizando la estabilidad y el rendimiento sobre funciones generales no requeridas. A continuación, se aplican estos parámetros generales para evaluar individualmente cada categoría del entorno de desarrollo.

a. Análisis para la selección del motor gráfico

El núcleo del sistema reside en el motor de renderizado, el cual actúa como el integrador de todas las lógicas de interacción, físicas y visualización. La elección entre las opciones líderes del mercado y plataformas especializadas se basó en una Matriz de Selección Multicriterio, ponderando factores críticos para un desarrollo individual bajo la metodología ágil XP, tales como la tasa de transferencia de datos, la latencia en el renderizado y la facilidad de implementación de componentes biomédicos.

Tras evaluar las opciones presentadas en Tabla 38, se determinó que Unity 3D es la plataforma más apta para el desarrollo de la sala UCI. Su equilibrio entre potencia gráfica y facilidad de scripting mediante C# permite gestionar de manera eficiente la lógica de los equipos biomédicos, mientras que su compatibilidad nativa con visores autónomos garantiza la estabilidad necesaria para las prácticas de la Carrera de Enfermería en la UTA.

Tabla 38. Matriz comparativa de motores de renderizado

Motores gráficos	**Lenguaje**	**Atributos**	**Licencias**	**Campo**
Unity 3D	C#	Versatilidad multiplataforma y alto rendimiento en RV.	Gratuita / Pro	Simuladores clínicos especializados.
Unreal Engine	C++	Gráficos de alta fidelidad e iluminación dinámica.	Gratuita	Entrenamiento de alta complejidad.
Godot Engine	C# / C++	Motor ligero de código abierto bajo licencia MIT.	Gratuita	Simulaciones educativas de bajo costo.
Three.js	JavaScript	Desarrollo de experiencias 3D basadas en WebXR y WebGL.	Gratuita	Visualización clínica mediante navegadores.
Babylon.js	TypeScript	Framework para aplicaciones 3D completas y videojuegos web.	Gratuita	Simulaciones ligeras multiplataforma.

- ***Evaluación cuantitativa de motores gráficos***

Una vez identificadas las características generales de las plataformas, se procede a la aplicación del modelo de selección ponderada para determinar la viabilidad técnica de cada opción frente a los requerimientos específicos de la sala UCI.

A continuación, se detallan los criterios de evaluación y la justificación de su ponderación:

- Optimización para Hardware Autónomo (30%): Es el criterio de mayor peso debido a que la simulación debe ejecutarse de forma nativa en visores autónomos (como Meta Quest). La capacidad del motor para gestionar recursos limitados sin sacrificar la fluidez es crítica para evitar la cinetosis en los estudiantes.

- Curva de Aprendizaje y Scripting (25%): Un motor con lenguajes accesibles y documentación extensa permite un desarrollo más ágil de la lógica de enfermería y la interacción con equipos.

- Ecosistema de Assets y Soporte (20%): Este peso responde a la necesidad de integrar modelos 3D detallados de equipos biomédicos. Un ecosistema robusto facilita la obtención y optimización de recursos gráficos necesarios para el realismo de la UCI.

- Gestión de Memoria y Latencia (15%): Crucial para asegurar que la comunicación entre la realidad virtual y el backend sea eficiente, garantizando que los datos de los equipos se muestren sin retrasos significativos.

- Facilidad de Despliegue Académico (10%): Refleja la importancia de que la aplicación sea fácil de instalar y utilizar dentro de los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato por parte de docentes y alumnos.

Como se demuestra mediante la aplicación del modelo de selección ponderada en la Tabla 39, Unity obtuvo la calificación más alta con un puntaje de 4.85. Este resultado se fundamenta en su desempeño superior en la optimización nativa para hardware móvil y su eficiente manejo de la lógica de programación mediante C#. Aunque las soluciones basadas en WebXR como Three.js o Babylon.js ofrecen una alta facilidad de despliegue, carecen de la robustez necesaria para gestionar la carga poligonal y las físicas de una sala UCI con la fluidez requerida para evitar el mareo cinético en los estudiantes de la carrera de enfermería.

Tabla 39. Cuantificación de criterios técnicos para la selección del motor

Criterio de evaluación	Peso (%)	Unity	Unreal	Godot	Three.js	Babylon.js
Optimización para Hardware Autónomo	30%	5	3	3	2	2
Curva de Aprendizaje y Scripting	25%	5	3	4	4	3
Ecosistema de Assets y Soporte	20%	5	4	2	3	2
Gestión de Memoria y Latencia	15%	4	5	4	3	3
Facilidad de Despliegue Académico	10%	5	3	5	5	5
Puntaje Ponderado Final	100%	4.85	3.50	3.45	3.05	2.80

b. Análisis para la selección del lenguaje de programación

La selección del lenguaje de programación es un factor determinante para la estabilidad de los algoritmos de interacción y la gestión de eventos dentro de la Sala UCI. Se requiere un lenguaje que ofrezca un equilibrio entre rendimiento computacional y facilidad de implementación para la lógica de los activos biomédicos.

Tras el análisis técnico presentado en la Tabla 40, se observa una diversidad de paradigmas que varían según el motor de ejecución y el nivel de control sobre el hardware. Mientras que lenguajes como C++ priorizan el rendimiento crudo, otras alternativas como C# y JavaScript buscan optimizar los tiempos de desarrollo mediante una gestión de memoria automatizada. Esta comparativa permite identificar las opciones que mejor se alinean con la arquitectura de un sistema inmersivo, considerando la facilidad de depuración y la robustez necesaria para gestionar la lógica de interacción en una sala UCI virtual.

Tabla 40. Matriz comparativa de lenguajes de programación en entornos de realidad virtual

Lenguaje	Atributos	Motores	Abstracción
C#	Orientado a objetos, gestión eficiente de memoria y alta compatibilidad con APIs gráficas.	Unity	Alto
C++	Rendimiento extremo con control manual de hardware y gráficos de alto realismo.	Unreal Engine	Bajo (Cercano al hardware)
JavaScript	Lenguajes interpretados para integraciones web y entornos 3D ligeros.	Second Life, CliniSim	Medio
TypeScript	Estandarización para navegadores web y prototipado rápido multiplataforma.	CYENS / ASPIRE Framework	Medio

- ***Evaluación cuantitativa de lenguajes de programación***

Para la selección del lenguaje, se evaluaron las opciones más relevantes frente a la capacidad de respuesta del sistema y la facilidad de depuración de scripts complejos. A continuación, se detallan los criterios de evaluación y la justificación de su ponderación:

- Integración con el Motor (40%): Unity utiliza C# como su lenguaje nativo. Esto permite una comunicación directa con el XR Interaction Toolkit y el VRIK, algo que con C++ sería mucho más complejo y con JavaScript (ya depreciado en Unity) sería imposible.

- Gestión de Memoria (25%): El "Garbage Collector" de C# es vital en VR. Evita fugas de memoria que podrían causar caídas de frames, lo cual es crítico para no marear al estudiante de enfermería durante la simulación.

- Soporte para APIs de VR (20%): Las librerías de Meta Quest (Oculus SDK) están optimizadas para C#, facilitando la detección de los controladores y el seguimiento de las manos.

- Debugging (15%): La capacidad de usar Visual Studio para poner puntos de interrupción (breakpoints) mientras el doctor camina por la sala UCI permite corregir errores de interacción en tiempo real.

De acuerdo con la Tabla 41, el lenguaje C# alcanzó el puntaje máximo de 5.00, consolidándose como la opción idónea para el proyecto. Esta puntuación es el resultado de su integración nativa y transparente con el motor Unity, lo que permite una comunicación eficiente con las librerías de realidad virtual.

Su robustez en la programación orientada a objetos facilita la creación de scripts modulares para cada equipo de la UCI, garantizando que el sistema sea escalable.

Tabla 41. Cuantificación de criterios técnicos para la selección del lenguaje.

Criterio de evaluación	Peso (%)	C#	C++	JavaScript	TypeScript
Integración con el Motor de Desarrollo	40%	5	2	1	1
Seguridad y Gestión de Memoria	25%	5	3	4	4
Soporte para APIs de Realidad Virtual	20%	5	5	3	3
Facilidad de Mantenimiento y Debugging	15%	5	3	4	4
Puntaje Ponderado Final	100%	5.00	3.05	2.65	2.65

c. Análisis de hardware de visualización

El dispositivo de visualización, técnicamente denominado HMD (Head-Mounted Display), constituye la interfaz sensorial primaria que vincula al usuario con el ecosistema virtual. En el marco académico, la selección del hardware no debe limitarse a la potencia de procesamiento, sino que debe priorizar factores críticos de usabilidad como la ergonomía del dispositivo, la nitidez óptica para la interpretación de datos en pantalla y la autonomía operativa. Estos elementos son fundamentales para garantizar que la experiencia de aprendizaje sea fluida, reduciendo la carga cognitiva externa y permitiendo una inmersión total sin las restricciones físicas que imponen los sistemas cableados convencionales.

Las especificaciones detalladas en la Tabla 42 permiten contrastar las diferentes arquitecturas de hardware disponibles para la visualización inmersiva, diferenciando entre sistemas de procesamiento autónomo y aquellos que dependen de estaciones de cómputo externas. La evaluación de estos parámetros técnicos es fundamental para determinar qué visor garantiza la resolución óptica adecuada para la interpretación de datos en el entorno virtual y la libertad de movimiento necesaria en un contexto académico.

Tabla 42. Matriz comparativa de visores de realidad virtual

Modelo	Resolución	Óptica	Sistema	Seguimiento
Meta Quest 3	2064 x 2208 px	Pancake	Standalone	Inside-out (6 DOF)
HTC Vive Pro 2	2448 x 2448 px	Fresnel	Basado en PC	Estaciones Base
Valve Index	1440 x 1600 px	Fresnel	Basado en PC	Estaciones Base
Meta Quest 2	1832 x 1920 px	Fresnel	Standalone	Inside-out

- ***Evaluación cuantitativa de hardware de visualización***

Para la cuantificación del hardware, se han priorizado criterios que faciliten la implementación en entornos de aprendizaje grupales y que aseguren una alta fidelidad visual para la correcta identificación de elementos en el entorno. A continuación, se detallan los criterios de evaluación y la justificación de su ponderación:

- Autonomía y Movilidad (35%): Este es el punto más fuerte. Al ser un sistema Standalone (todo en uno), permite que el estudiante se mueva por la sala UCI sin riesgo de tropezar con cables. Los visores como HTC Vive o Valve Index dependen de cables conectados a una PC y estaciones base externas, lo que limita el espacio de práctica.

- Fidelidad Visual y Nitidez (30%): En una simulación de enfermería, la nitidez es crítica para leer los valores en el monitor de signos vitales o las etiquetas del ventilador mecánico. Las Quest 3 utilizan lentes tipo Pancake, que eliminan el efecto de "rejilla" y ofrecen una claridad superior en comparación con las lentes Fresnel de las Quest 2 o HTC Vive Pro.

- Facilidad de Despliegue en Aula (20%): Preparar una clase con 10 visores Quest es cuestión de minutos. Los otros visores requieren instalar sensores en

las paredes y configurar un área de seguimiento fija, lo cual es poco práctico para un laboratorio de simulación médica multifuncional.

- Relación Costo-Beneficio (15%): Ofrecen tecnología de punta (incluyendo Realidad Mixta y sensores de profundidad) a una fracción del precio de un Valve Index, permitiendo que la universidad pueda adquirir más unidades con el mismo presupuesto.

De acuerdo con Tabla 43, las Meta Quest 3 obtuvieron la calificación máxima de 5.00. Esta elección se fundamenta en su arquitectura autónoma, que elimina la dependencia de hardware externo y estaciones de seguimiento fijas, simplificando significativamente su uso en las aulas de la Universidad Técnica de Ambato. Asimismo, la implementación de lentes Pancake asegura una visualización nítida y uniforme en todo el campo de visión, factor esencial para que el estudiante pueda interactuar con el entorno virtual de manera natural y ergonómica, minimizando el riesgo de fatiga visual o desorientación espacial.

Tabla 43. Cuantificación de criterios técnicos para la selección del visor

Criterio de evaluación	**Peso (%)**	**Meta Quest 3**	**HTC Vive Pro**	**Valve Index**	**Quest 2**
Autonomía y Movilidad	35%	5	1	1	5
Fidelidad Visual y Nitidez	30%	5	4	3	3
Facilidad de Despliegue en Aula	20%	5	2	2	5
Relación Costo - Beneficio	15%	5	2	2	4
Puntaje Ponderado Final	100%	5.00	2.15	1.85	4.25

d. Análisis para la selección de herramientas de modelado 3D

La creación de activos tridimensionales para una simulación de salud requiere herramientas que permitan un alto nivel de detalle geométrico sin comprometer el rendimiento del motor gráfico. El análisis se centra en identificar software capaz de gestionar el flujo de trabajo completo, desde el modelado poligonal hasta el texturizado

y la optimización de mallas, asegurando una exportación limpia hacia el entorno de ejecución.

El estudio comparativo de la Tabla 44 expone las capacidades de las herramientas de diseño más influyentes en la industria, analizando su versatilidad y flujos de trabajo de optimización. Dado que el sistema requiere la creación de activos clínicos detallados que deben ejecutarse con fluidez en un hardware autónomo, es imperativo analizar la eficiencia de cada software en la generación de modelos que no sobrecarguen el procesamiento gráfico del visor final.

Tabla 44. Matriz comparativa de software de diseño y modelado tridimensional

Software	**Tipo de Licencia**	**Características Clave**	**Exportación**
Blender	Open Source	Suite integral de modelado, texturizado y rigging.	Nativa (.fbx / .blend)
Autodesk Maya	Comercial	Estándar industrial para animación y efectos complejos.	Alta
3ds Max	Comercial	Especializado en visualización y modelado de superficies duras.	Alta
Cinema 4D	Comercial	Enfoque en diseño gráfico y facilidad de aprendizaje inicial.	Media

- ***Evaluación cuantitativa de herramientas de modelado***

Para la cuantificación del software de diseño, se han priorizado criterios de compatibilidad técnica, costos de licenciamiento y eficiencia en la gestión de polígonos. A continuación, se detallan los criterios de evaluación y la justificación de su ponderación:

- Compatibilidad con Unity (40%): Blender tiene una integración nativa excepcional con Unity. Los archivos .blend se pueden importar directamente, y la exportación a formato .fbx conserva perfectamente las jerarquías, los materiales y las escalas, lo cual es vital para que el ventilador mecánico mantenga sus proporciones reales en VR.

- Relación Costo y Sostenibilidad (30%): Al ser open source, Blender elimina la barrera del costo de licenciamiento (que en Maya o 3ds Max puede ser de miles de dólares anuales). Esto garantiza que cualquier laboratorio de la UTA pueda replicar tu proyecto sin incurrir en gastos adicionales de software.

- Optimización de Mallas / Low-poly (20%): Para que las Meta Quest 3S mantengan una tasa de refresco estable y no mareen al usuario, los modelos deben ser "ligeros". Blender ofrece herramientas de Retopología y modificadores de Decimate muy eficientes para reducir polígonos sin perder la forma del equipo médico.

- Documentación y Comunidad (10%): La enorme cantidad de recursos y tutoriales específicos para Blender a Unity facilita la resolución de problemas complejos, como el mapeo de texturas UV para que el monitor de signos vitales se vea nítido.

Tal como refleja la Tabla 45, Blender destaca con la puntuación máxima de 5.00. Esta selección se justifica no solo por su nulo costo de licenciamiento, lo que favorece la sostenibilidad del proyecto, sino por su potente conjunto de herramientas para la optimización de activos.

El uso de técnicas como el Baking de texturas y el Normal Mapping en Blender permite que los equipos de la UCI mantengan una alta fidelidad visual con un conteo de polígonos reducido, garantizando que la simulación cumpla con los estándares de rendimiento exigidos para el hardware Meta Quest 3.

Tabla 45. Cuantificación de criterios técnicos para la selección del software 3D

Criterio de evaluación	Peso (%)	Blender	Maya	3ds Max	Cinema 4D
Compatibilidad con Unity	40%	5	5	5	4
Relación Costo (Sostenibilidad)	30%	5	1	1	2
Optimización de Mallas (Low-poly)	20%	5	4	4	3
Documentación y Comunidad	10%	5	5	4	4
Puntaje Ponderado Final	100%	5.00	3.60	3.50	3.10

e. Análisis de Arquitectura para el Entorno Virtual

Este análisis se centra en la estructura interna del software dentro del motor de renderizado. Se requiere una arquitectura que permita gestionar cientos de objetos sin sacrificar el rendimiento (frames per second) necesario para evitar el mareo del usuario.

Tras analizar la Tabla 46. Matriz Comparativa de arquitecturas para el desarrollo inmersivo., se observa que, para un entorno con múltiples activos biomédicos independientes, la arquitectura debe facilitar la reutilización de scripts y la independencia de los objetos 3D.

Tabla 46. Matriz comparativa de arquitecturas para el desarrollo inmersivo

Arquitectura	Enfoque	Ventaja para RV	Complejidad
Basada en Componentes	Entidad-Componente	Máxima modularidad para activos médicos.	Baja
Monolítica	Código centralizado	Fácil de implementar en escenas pequeñas.	Media
Basada en Eventos	Comunicación por mensajes	Ideal para alarmas y sensores médicos.	Alta

- ***Evaluación cuantitativa de arquitectura de simulación***

Para la cuantificación de la arquitectura interna del entorno virtual, se han priorizado criterios de modularidad de los activos biomédicos, el rendimiento de renderizado en tiempo real y la escalabilidad del escenario, asegurando una experiencia fluida y libre de interrupciones técnicas para el usuario. A continuación, se detallan los criterios de evaluación y la justificación de su ponderación:

- Modularidad (40%): Esta arquitectura permite que cada equipo (ventilador mecánico, monitor de signos vitales, bombas de infusión) funcione de forma independiente. Si necesitas añadir un nuevo sensor al paciente, simplemente agregas un componente al objeto sin afectar al resto de la sala UCI.

- Rendimiento de Renderizado (30%): Al usar componentes, Unity puede optimizar el dibujado de los objetos y la ejecución de scripts en tiempo real. Esto garantiza que las Meta Quest 3S mantengan los FPS (cuadros por segundo) necesarios para evitar el mareo del estudiante de enfermería.

- Escalabilidad de la Sala (20%): Si en el futuro la universidad decide ampliar la simulación a una UCI con 10 camas, esta estructura modular permite duplicar los equipos y el entorno fácilmente sin reescribir el código base.

- Curva de Aprendizaje en Unity (10%): Dado que Unity funciona intrínsecamente mediante componentes (Transform, Mesh Renderer, Scripts), utilizar esta misma lógica para la programación del simulador facilita enormemente la depuración y el mantenimiento del proyecto.

Como se demuestra en la Tabla 47, la Arquitectura Basada en Componentes es la elección óptima para la Sala UCI. Su estructura permite que cada equipo médico sea un "Prefab" independiente con comportamientos específicos, permitiendo que el simulador sea ligero y fácil de expandir con nuevo instrumental clínico.

Tabla 47. Cuantificación de criterios técnicos para la arquitectura de la sala UCI

Criterio de evaluación	Peso (%)	Componentes	Monolítica	Eventos
Modularidad de Equipos Médicos	40%	5	2	4
Rendimiento de Renderizado (FPS)	30%	5	5	4
Escalabilidad de la Sala	20%	5	1	4
Curva de Aprendizaje en Unity	10%	5	4	3
Puntaje Ponderado Final	100%	5.00	2.90	3.90

f. Análisis de arquitectura para plataforma web

A diferencia de la lógica interna de la sala, el sistema de gestión web requiere una arquitectura de red que permita la interoperabilidad entre el visor de RV y la plataforma administrativa del docente. Este modelo debe garantizar la seguridad en el acceso, la persistencia de datos.

En la Tabla 48 se expone los modelos de comunicación necesarios para la administración del ecosistema. Para un entorno académico, la prioridad técnica radica en que el docente posea el control total sobre las salas de simulación desde una infraestructura centralizada, asegurando que solo los estudiantes autorizados ingresen al entorno inmersivo.

Tabla 48. Matriz comparativa de arquitectura web y gestión administrativa

Arquitectura	Modelo	Aplicación	Seguridad
Cliente-Servidor	Petición-Respuesta	Control centralizado de acceso.	Alta
Peer-to-Peer (P2P)	Descentralizado	Conexión directa entre dispositivos.	Baja
Microservicios	Servicios distribuidos	Gestión independiente de módulos.	Muy Alta

- ***Evaluación cuantitativa de arquitectura web de gestión***

En la cuantificación de la arquitectura de red y administración, se han priorizado criterios de control de roles para el registro, la centralización de los protocolos de autenticación y la eficiencia en la comunicación síncrona entre los usuarios y el servidor. A continuación, se detallan los criterios de evaluación y la justificación de su ponderación:

Control de Roles (40%): Es el criterio con mayor peso debido a que la seguridad y la integridad del sistema dependen de una jerarquía clara. El sistema debe garantizar que solo el docente tenga facultades administrativas, mientras que el estudiante se limite a la visualización y uso de la simulación.

Centralización de Registro y Login (30%): Se asigna este porcentaje porque el proyecto requiere una base de datos única que sirva tanto para la plataforma web como para el ingreso dentro del visor de RV. La centralización facilita la gestión de credenciales y evita la duplicidad de datos.

Simplicidad de Implementación (20%): Considerando el cronograma académico, se valora una arquitectura que permita un desarrollo fluido y una integración rápida, sin añadir una complejidad innecesaria que pueda retrasar la entrega del proyecto.

Infraestructura (10%): Este criterio evalúa los recursos técnicos y de red necesarios para el despliegue. Se busca una arquitectura que se adapte eficientemente a los servidores institucionales disponibles sin requerir configuraciones de red excesivamente costosas o complejas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 49, se selecciona la Arquitectura Cliente-Servidor. Este modelo permite gestionar de manera eficiente el registro y la autenticación de usuarios de la carrera de enfermería 8vo Semestre de la Universidad Técnica de Ambato, asegurando que el servidor identifique correctamente el rol asignado. Bajo un entorno controlado y seguro, cumpliendo con los requerimientos administrativos del proyecto.

Tabla 49. Cuantificación de criterios técnicos para la arquitectura del sistema de gestión web

Criterio de evaluación	Peso (%)	Cliente-Servidor	P2P	Microservicios
Control de Roles (Docente/Estudiante)	40%	5	2	5
Centralización de Registro y Login	30%	5	1	5
Simplicidad de Implementación	20%	5	3	1
Infraestructura	10%	4	5	2
Puntaje Ponderado Final	100%	4.90	2.20	3.60

g. Análisis para la selección de base de datos

El sistema requiere un mecanismo de persistencia robusto para la gestión del ecosistema administrativo. El enfoque principal de la base de datos es garantizar la integridad del registro de usuarios, la asignación de roles. Mientras que los activos tridimensionales son gestionados de forma nativa por el motor Unity, la lógica de negocio y el control de acceso dependen de un sistema de gestión de bases de datos centralizado.

Que permita desacoplar los datos dinámicos de la simulación de la estructura relacional de la plataforma, proporcionando escalabilidad ante futuros incrementos en la carga de información. Además, la centralización facilita la auditoría de procesos y la aplicación de políticas de seguridad unificadas, protegiendo tanto la información sensible de los perfiles como las configuraciones técnicas del inventario médico.

En la Tabla 50 se contrasta soluciones que varían desde entornos de código abierto hasta plataformas de nivel empresarial. Para este proyecto, es imperativo seleccionar un motor que no solo ofrezca una estructura rígida para la gestión de roles, sino que también garantice la protección de los datos académicos y la facilidad de integración con el backend del sistema de gestión web.

Tabla 50. Matriz comparativa de sistemas de gestión de bases de datos para el sistema web

Sistema	Tipo	Escalabilidad	Seguridad
PostgreSQL	Relacional	Alta	Muy Alta
MySQL	Relacional	Media	Alta
Microsoft SQL Server	Relacional	Alta	Alta
Oracle Database	Relacional	Alta	Muy Alta
Firebase	NoSQL	Muy Alta	Media
MongoDB	NoSQL	Alta	Media

- ***Evaluación cuantitativa de sistemas de persistencia de datos***

Para la cuantificación de la base de datos, se han priorizado criterios de integridad referencial para el registro de perfiles, la seguridad en el manejo de credenciales y la viabilidad técnica de implementación dentro del marco del proyecto. A continuación, se detallan los criterios de evaluación y la justificación de su ponderación:

Integridad de Roles y Registros (40%): Es el criterio con mayor relevancia, ya que el sistema debe garantizar la consistencia absoluta entre los perfiles creados en la web y su acceso en la simulación UCI. La capacidad de manejar relaciones complejas y restricciones de integridad es vital para evitar errores en la asignación de permisos.

Seguridad de la Información (30%): Se asigna este peso debido a la sensibilidad de los datos institucionales. El sistema de persistencia debe permitir la implementación robusta de encriptación y manejo de credenciales para proteger la privacidad de estudiantes y docentes de la Universidad Técnica de Ambato.

Viabilidad de Implementación (20%): Este porcentaje evalúa la facilidad de integración con los entornos de desarrollo utilizados en el proyecto. Se busca una solución que no presente conflictos de comunicación entre el servidor de aplicaciones y los motores gráficos.

Licenciamiento (10%): Este criterio considera la sostenibilidad del proyecto a largo plazo. Se priorizan opciones que permitan un despliegue académico sin costos adicionales de licencias, facilitando su permanencia dentro de la infraestructura universitaria.

Como se observa en la Tabla 51, se selecciona PostgreSQL como el motor de base de datos para el proyecto. Aunque opciones como Oracle o SQL Server ofrecen capacidades masivas, sus costos de licenciamiento y complejidad de infraestructura no se alinean con la agilidad requerida para esta implementación. PostgreSQL proporciona un equilibrio positivo entre seguridad de nivel profesional y una arquitectura relacional sólida, lo que garantiza que el proceso de registro, autenticación y gestión de roles para estudiantes y profesores sea íntegro, escalable y eficiente.

Tabla 51. Cuantificación de criterios técnicos para la selección de la base de datos

Criterio de evaluación	Peso (%)	PostgreSQL	SQL Server	Oracle	MySQL
Integridad de Roles y Registros	40%	5	5	5	4
Seguridad de la Información	30%	5	5	5	4
Viabilidad de Implementación	20%	5	3	2	5
Licenciamiento	10%	5	2	1	5
Puntaje Ponderado Final	100%	5.00	4.00	3.60	4.30

h. Análisis de lenguajes de programación para el sistema web

Para el desarrollo del ecosistema administrativo, es fundamental seleccionar un lenguaje que ofrezca solidez, facilidad de mantenimiento y una integración coherente entre la interfaz del usuario y la lógica del servidor. El enfoque principal es garantizar un tipado fuerte que minimice errores en la lógica de asignación de roles y el manejo de flujos de datos entre el profesor y el sistema.

En la Tabla 52. Matriz comparativa de lenguajes de programación para el Sistema Web. se contrastan lenguajes que definen el desarrollo web contemporáneo. Para este proyecto, es imperativo seleccionar una opción que no solo facilite la velocidad de implementación, sino que proporcione una capa de seguridad adicional mediante la detección de errores en tiempo de desarrollo, asegurando que la información académica procesada sea siempre íntegra.

Tabla 52. Matriz comparativa de lenguajes de programación para el sistema web

Lenguaje	Paradigma	Tipado	Mantenibilidad	Seguridad
TypeScript	Multiparadigma	Estático (Fuerte)	Muy Alta	Alta
JavaScript	Basado en prototipos	Dinámico	Media	Media
PHP	Imperativo	Dinámico	Baja	Media
Python	Multiparadigma	Dinámico (Fuerte)	Alta	Alta
Java	Orientado a objetos	Estático	Muy Alta	Muy Alta

- ***Evaluación cuantitativa del lenguaje de programación web***

Para la cuantificación del lenguaje, se han priorizado criterios de seguridad en el código mediante el tipado, la compatibilidad con frameworks modernos de alto rendimiento (como NestJS y React) y la capacidad de unificar el stack tecnológico. A continuación, se detallan los criterios de evaluación y la justificación de su ponderación:

Detección de Errores - Tipado (40%): Es el criterio con mayor peso debido a la complejidad de integrar una plataforma web con un simulador de Realidad Virtual. Un lenguaje que permita detectar errores durante la escritura (tiempo de compilación) reduce drásticamente los fallos en producción y asegura que la comunicación con la base de datos sea consistente.

Ecosistema de Frameworks (30%): Se asigna este porcentaje considerando la necesidad de utilizar herramientas de alto rendimiento para el servidor y para la

interfaz de usuario. El lenguaje debe tener un soporte nativo y maduro para estas tecnologías, facilitando la implementación de la lógica de negocio y la gestión de usuarios.

Mantenibilidad del Código (20%): Este peso responde a la visión de escalabilidad del proyecto. Un código organizado y fácil de leer permite realizar actualizaciones futuras en la sala UCI o añadir nuevas funcionalidades sin comprometer la estabilidad global del sistema.

Unificación del Stack (10%): Evalúa la ventaja estratégica de utilizar una misma base tecnológica en diferentes capas del proyecto. Esto simplifica la curva de aprendizaje y permite una transferencia de datos más fluida entre los distintos módulos del ecosistema digital.

Como se observa en la Tabla 53, se selecciona TypeScript como el lenguaje de programación para el sistema de gestión web. Su versatilidad multiparadigma permite estructurar la lógica de roles de manera eficiente, mientras que su tipado estático actúa como una primera barrera de seguridad. Esta homogeneidad técnica reduce la probabilidad de errores en el intercambio de información entre el sistema de administración del profesor y el servidor, garantizando una gestión de perfiles académicos eficiente y segura para la Universidad Técnica de Ambato.

Tabla 53. Cuantificación de criterios técnicos para la selección del lenguaje web

Criterio de evaluación	**Peso (%)**	**TypeScript**	**JavaScript**	**Java**	**Python**
Detección de Errores (Tipado)	40%	5	2	5	3
Ecosistema de Frameworks	30%	5	5	4	4
Mantenibilidad del Código	20%	5	3	5	4
Unificación del Stack	10%	4	5	2	3
Puntaje Ponderado Final	100%	4.9	3.50	4.30	3.50

i. Análisis para la selección de frameworks (front-end y back-end)

Para garantizar un ecosistema web escalable y de alto rendimiento, es necesario seleccionar herramientas que permitan una arquitectura modular y una respuesta inmediata. El sistema requiere un Front-end dinámico para el Dashboard del docente que gestione la interactividad en tiempo real, y un Back-end robusto que administre la lógica de negocios, los roles de usuario y la comunicación con el entorno inmersivo. Esta separación de responsabilidades asegura que la interfaz de usuario se mantenga ágil y responsiva, independientemente de la complejidad de los procesos ejecutados en el servidor

En la Tabla 54. Matriz comparativa de frameworks para el ecosistema de gestión web. se evalúan las herramientas que darán soporte a la interfaz y al servidor del proyecto. La combinación seleccionada debe permitir que el sistema de administración sea altamente interactivo, facilitando al profesor la habilitación de salas y la gestión de estudiantes mediante un flujo de datos eficiente y ordenado.

Tabla 54. Matriz comparativa de frameworks para el ecosistema de gestión web

Framework	Categoría	Arquitectura	Ventaja	Seguridad
React	Front-end	Basada en Componentes	Alta velocidad en interfaces reactivas.	Alta
NestJS	Back-end	Modular (Clean Architecture)	Estructura organizada, escalable y tipada.	Muy Alta
Angular	Front-end	MVC (Model-View-Controller)	Estructura sólida para equipos grandes.	Alta
Express.js	Back-end	Minimalista / Middleware	Ligero y flexible, pero sin estructura nativa.	Media
Django	Full-stack	MVT (Model-View-Template)	Desarrollo rápido con seguridad integrada.	Muy Alta

- ***Evaluación cuantitativa de frameworks de desarrollo***

Para la cuantificación de los frameworks, se han priorizado criterios de escalabilidad modular, velocidad de respuesta en la interfaz para el docente, soporte nativo para el lenguaje de programación y la facilidad de mantenimiento de la lógica de roles. A continuación, se presentan los criterios de evaluación y la justificación de su ponderación:

Escalabilidad y Modularidad (40%): Es el criterio con mayor peso debido a que el sistema debe permitir el crecimiento futuro, como la adición de nuevas salas de simulación o módulos de evaluación. Una arquitectura modular garantiza que los cambios en una sección no afecten la estabilidad global del ecosistema.

Velocidad de Respuesta en la Interfaz - UI (30%): Se asigna este porcentaje para garantizar que el dashboard administrativo del docente sea altamente reactivo. Una interfaz rápida es crucial para la gestión en tiempo real de los accesos de los estudiantes y la visualización de los estados de la simulación.

Ecosistema y Soporte para Tipado (20%): Este peso responde a la necesidad de contar con herramientas que tengan una integración nativa y profunda con lenguajes de programación robustos. Esto facilita la detección de errores durante el desarrollo y asegura una comunicación técnica sin fallos entre el backend y el frontend.

Mantenibilidad de Roles (10%): Evalúa la facilidad con la que el marco de desarrollo permite implementar y actualizar la lógica de permisos (Docente/Estudiante). Se busca una solución que simplifique la administración de la jerarquía de usuarios sin añadir una complejidad excesiva al código.

Como se observa en Tabla 55. Cuantificación de criterios técnicos para la selección de frameworks. Se seleccionan React y NestJS como el stack tecnológico para el sistema de gestión. React ofrece una gestión eficiente del estado de la interfaz, permitiendo que el profesor administre las salas sin interrupciones. Por su parte, NestJS proporciona una arquitectura inspirada en principios sólidos de ingeniería, lo que facilita la creación de un servidor seguro y organizado. Esta dupla garantiza un entorno de desarrollo profesional y perfectamente alineado con los requerimientos técnicos.

Tabla 55. Cuantificación de criterios técnicos para la selección de frameworks

Criterio de evaluación	Peso (%)	React + NestJS	Angular + Express	Django (Python)
Escalabilidad y Modularidad	40%	5	4	4
Velocidad de Respuesta (UI)	30%	5	4	3
Ecosistema y Soporte (TS)	20%	5	5	2
Mantenibilidad de Roles	10%	5	3	5
Puntaje Ponderado Final	100%	5	4.10	3.60

j. Stack tecnológico seleccionado

La Tabla 56 presenta el ecosistema tecnológico definitivo seleccionado para el desarrollo del simulador de la sala UCI y su sistema de gestión web. Esta combinación de herramientas no solo responde a criterios de eficiencia técnica, sino también a la necesidad de crear una solución sostenible y escalable para la educación en enfermería.

La columna vertebral del proyecto se fundamenta en la sinergia entre Unity 3D y C#, garantizando una gestión de físicas y memoria óptima para evitar efectos adversos como la cinetosis en el usuario. Esta robustez técnica se complementa con el uso de Blender, que permite una optimización de mallas de alta calidad sin comprometer el rendimiento del hardware autónomo Meta Quest 3, cuya arquitectura sin cables es vital para la movilidad en entornos de práctica clínica.

En el ámbito de la gestión, la arquitectura Cliente-Servidor centraliza la seguridad mediante un backend desarrollado en NestJS y TypeScript, lo que minimiza errores de comunicación y asegura un tipado estático riguroso entre la aplicación web y el entorno de RV. Finalmente, la persistencia de datos bajo PostgreSQL y una interfaz administrativa en React aseguran que tanto docentes como estudiantes interactúen con un sistema profesional, íntegro y de alta velocidad de respuesta.

Tabla 56. Herramientas seleccionadas para el desarrollo integral

Categoría	Herramienta seleccionada	Justificación técnica	Calificación final
Motor Gráfico	Unity 3D	Optimización nativa para hardware autónomo y robustez en la gestión de físicas clínicas.	4.85 / 5.00 (Ver Tabla 39)
Lenguaje (VR)	C#	Integración transparente con Unity y gestión eficiente de memoria para evitar la cinetosis.	5.00 / 5.00 (Ver Tabla 41)
Hardware (HMD)	Meta Quest 3	Arquitectura Standalone con lentes Pancake que aseguran nitidez y libertad de movimiento.	5.00 / 5.00 (Ver Tabla 43)
Modelado 3D	Blender	Suite de código abierto ideal para optimización de mallas Low-poly y sostenibilidad del proyecto.	5.00 / 5.00 (Ver Tabla 45)
Arquitectura de Software (VR)	Basada en Componentes	Alta modularidad para la gestión independiente de equipos médicos y estabilidad de renderizado.	5.00 / 5.00 (Ver Tabla 47)
Arquitectura	Cliente-Servidor	Centralización del control de acceso y protocolos de autenticación institucional.	4.90 / 5.00 (Ver Tabla 49)
Base de Datos	PostgreSQL	Sistema relacional de nivel profesional que garantiza la integridad de roles y registros.	5.00 / 5.00 (Ver Tabla 51
Lenguaje (Web)	TypeScript	Proporciona tipado estático para minimizar errores en la comunicación entre la Web y la RV.	4.90 / 5.00 (Ver Tabla 53)
Frameworks	React + NestJS	Combinación de alta velocidad de respuesta en UI mediante componentes y arquitectura backend modular.	5.00 / 5.00 (Ver Tabla 55

k. Diagramas de casos de uso

Los diagramas de casos de uso, basados en el estándar internacional UML (Unified Modeling Language), permiten representar gráficamente las interacciones entre los actores externos y las funcionalidades específicas del software. En la presente investigación, se utiliza esta notación para detallar el comportamiento de los dos

módulos principales que componen el ecosistema digital: la plataforma y el entorno de realidad virtual orientado a la simulación de una sala UCI.

- **Plataforma web**

La plataforma web permite a los usuarios registrarse inicialmente bajo el rol de estudiante mediante credenciales de acceso. Asimismo, los usuarios disponen de la función para recuperar su contraseña en caso de olvido. El sistema cuenta con un rol de Administrador, quien posee la facultad exclusiva de elevar los privilegios de un usuario a tipo Docente. Una vez otorgado este rango, el docente accede a permisos adicionales, tales como la visualización y gestión del listado de estudiantes registrados en la plataforma.

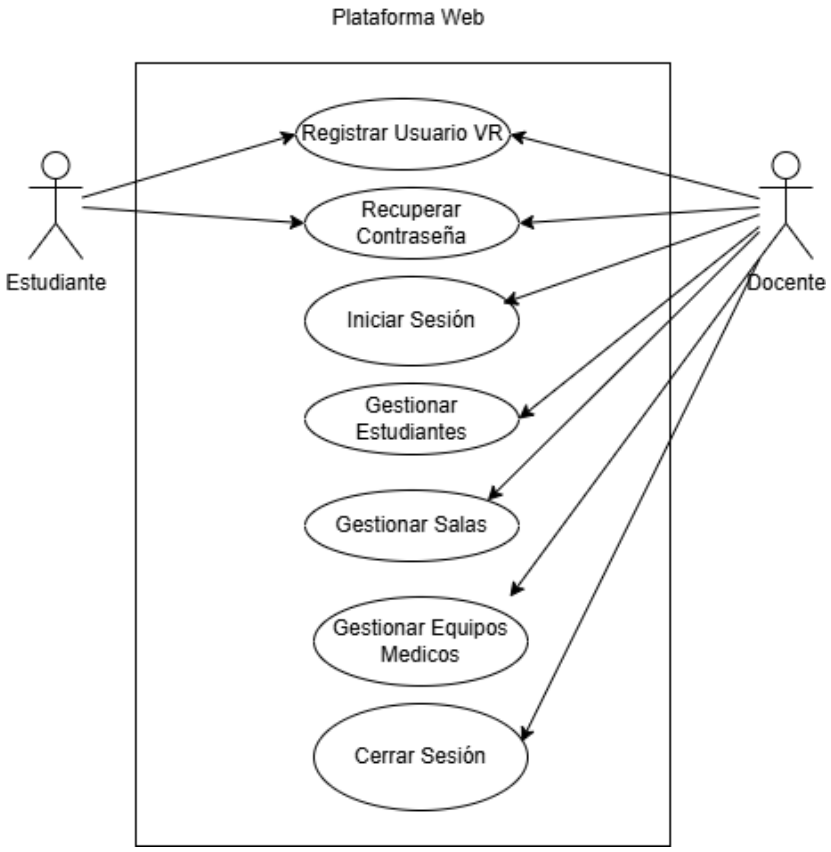


Figura 13. Diagrama de caso de uso plataforma web

En la Figura 13 se detalla el modelo de interacción y control de accesos de la plataforma web, estructurado mediante la delimitación de funciones para los actores del ecosistema: Estudiante y docente. El flujo base expone que servicios críticos de gestión de credenciales, tales como el autorregistro general en el sistema (Registrar

Usuario VR) y la solicitud de recuperación de contraseñas, se encuentran disponibles de forma abierta para el perfil de Estudiante. Por otro lado, la jerarquía administrativa centralizada otorga al Docente la facultad exclusiva de interactuar con el núcleo operativo y de configuración del simulador. Este actor posee el acceso directo a los módulos de autenticación local (Iniciar Sesión) y de salida segura (Cerrar Sesión), además de las competencias de control sobre los datos persistidos en el servidor. Dicha capacidad incluye la auditoría y gestión de cuentas estudiantiles (Lectura, Edición y Baja), así como la administración técnica mediante operaciones CRUD de los entornos virtuales (Gestionar Salas) y del inventario biomédico (Gestionar Equipos Médicos). De este modo, la plataforma web actúa como el componente logístico central que regula la identidad y las variables de simulación antes de su ejecución inmersiva.

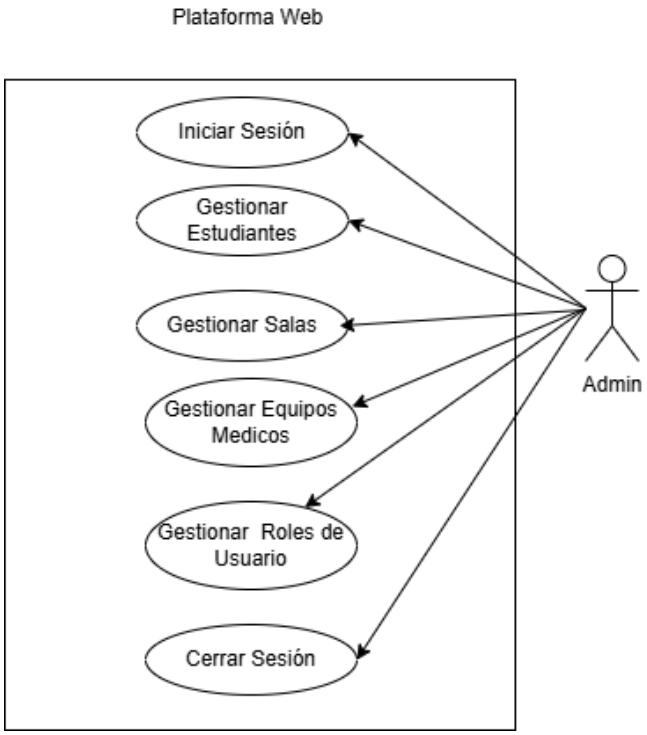


Figura 14. Diagrama de caso uso plataforma web admin

En la Figura 14 se detalla el modelo de casos de uso correspondiente al perfil de administrador, quien actúa como el superusuario del ecosistema tecnológico centralizado. Al estructurar este módulo de forma independiente, se evidencia que el actor posee la capacidad de interactuar directamente con todas las dimensiones administrativas del servidor, controlando de manera integral el backend desarrollado

en NestJS y la base de datos PostgreSQL. El flujo operativo expone que el Administrador asume las competencias del Docente respecto al mantenimiento lógico del simulador clínico, participando de los procesos de autenticación (Iniciar Sesión y Cerrar Sesión) y de los datos mediante operaciones CRUD en los módulos de Gestionar Estudiantes, Gestionar Salas y Gestionar Equipos Médicos. No obstante, la ventaja arquitectónica fundamental de este rol radica en su facultad exclusiva para interactuar con el caso de uso Gestionar Roles de Usuario. Esta función específica representa el núcleo de control de identidad del proyecto, permitiendo al Administrador elevar los privilegios de acceso de las cuentas autorregistradas en la web para asignarles formalmente el rango de Docente. De esta manera, el diagrama consolida el nivel más alto de la jerarquía de seguridad, asegurando una administración escalable, ordenada y restringida de los recursos institucionales.

- **Entorno de realidad virtual**

El entorno de realidad virtual permite al estudiante acceder a la simulación inmersiva de la sala UCI utilizando dispositivos Meta Quest. Para ingresar al sistema, el estudiante y docente debe iniciar sesión con las credenciales registradas previamente en el sistema web. Una vez autenticado, puede interactuar con el entorno clínico virtual para su reconocimiento y posteriormente finalizar la sesión.

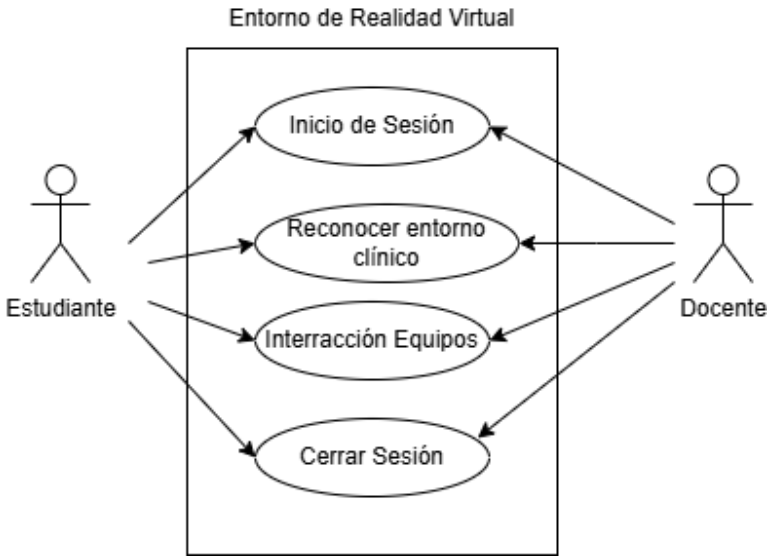


Figura 15. Diagrama de caso de uso realidad virtual

En la Figura 15 se describe la fase operativa inmersiva, donde tanto el Estudiante como el Docente interactúan de manera directa con el entorno simulado en realidad virtual. El proceso comienza con la autenticación del usuario para vincular su identidad con la sesión activa a través de la API centralizada. A esto le sigue el núcleo pedagógico del proyecto: el reconocimiento del entorno clínico y la interacción con los equipos biomédicos de la sala UCI. De acuerdo con el alcance de la investigación, esta etapa se centra en la identificación espacial y técnica del área mediante el despliegue de fichas descriptivas tridimensionales. Finalmente, el cierre de sesión asegura la invalidación de las credenciales de red y la finalización correcta de la experiencia de aprendizaje virtual dentro del visor.

3.2 Diseño

En esta fase del proyecto, se transforma el análisis de requerimientos en una estructura arquitectónica y visual detallada, estableciendo los planos fundamentales para la construcción del ecosistema digital. El diseño abarca desde la conceptualización de los elementos tridimensionales de la Unidad de Cuidados Intensivos, basados en criterios de realismo médico y técnico, hasta la estructuración de las interfaces de usuario para la plataforma de gestión web y el entorno inmersivo. El objetivo central de este capítulo es garantizar que cada componente del software responda a una lógica de ingeniería y usabilidad, asegurando que la experiencia del estudiante de enfermería sea coherente con la práctica clínica real.

3.2.1 Criterios de realismo basados en el entorno hospitalario real

La fase de diseño inició mediante una entrevista en profundidad con un especialista en cuidados críticos. Este diálogo permitió recolectar información esencial sobre la disposición espacial, la funcionalidad de los equipos y los estímulos visuales necesarios para que el estudiante de enfermería logre una inmersión efectiva.

a. Entrevista Técnica

Entrevistador: Gabriel Medina

Entrevistado: Especialista en Cuidados Críticos (Enfermería/Medicina)

Lugar: Carrera de Enfermería

Duración: 45 minutos

Gabriel Medina: Doctora, gracias por recibirme. Para el desarrollo del simulador de la sala UCI en realidad virtual, necesito definir qué equipos y objetos son indispensables para la formación de los estudiantes de octavo semestre. Basado en la planificación inicial, ¿qué tan crítica es la fidelidad visual de estos equipos?

Especialista: "Es un factor determinante. En la Unidad de Cuidados Intensivos, el reconocimiento inmediato de la tecnología médica es una competencia vital. Si un equipo no tiene el aspecto correcto, el estudiante no podrá generar la memoria muscular y visual necesaria para actuar en una situación de emergencia real. El realismo disminuye la brecha entre la teoría y la práctica clínica".

Gabriel Medina: Comencemos con el mobiliario principal. En la imagen de referencia tenemos la Cama Clínica. ¿Qué detalles no deben faltar en su diseño?

Especialista: "La cama de UCI es mucho más compleja que una estándar. Debe ser una estructura articulada que permita posiciones como la de Fowler o Trendelenburg. Visualmente, debe tener barandillas de seguridad laterales, un panel de control integrado y ruedas con sistemas de bloqueo visibles. El colchón debe representarse como uno de tipo antiescaras".

Gabriel Medina: Respecto al soporte vital, ¿qué detalles son fundamentales para el Ventilador Mecánico?

Especialista: " Es el equipo más complejo visualmente. Debe incluir las mangueras corrugadas que forman el circuito del paciente, y el monitor del ventilador debe mostrar gráficas dinámicas de presión y volumen. Esto es un detalle de realismo muy importante para que el estudiante comprenda el funcionamiento técnico y sepa que el equipo está operativo".

Gabriel Medina: He incluido también el Monitor de Signos Vitales. ¿Qué es lo que el estudiante debe poder leer en él?

Especialista: "La legibilidad es la clave. Necesitas representar curvas de diferentes colores: verde para el electrocardiograma (ECG), azul para la saturación de oxígeno y amarillo o rojo para la presión arterial. Debe incluir un botón de 'alarma' o silencio bien visible, ya que el manejo de alarmas es una tarea constante en enfermería".

Gabriel Medina: En la imagen también observamos las Bombas de Infusión y su Soporte. ¿Cómo se disponen normalmente?

Especialista: "Normalmente usamos torres de infusión. El soporte es una estructura metálica con ruedas y ganchos superiores para las soluciones salinas. Las bombas deben tener su teclado numérico y una pantalla que indique el flujo en ml/h. Es común ver tres o cuatro bombas trabajando simultáneamente para un solo paciente".

Gabriel Medina: Finalmente, para situaciones de emergencia, tenemos el Carro de Paro. ¿Cómo debe lucir en el simulador?

Especialista: "Debe ser rojo intenso, sin excepción, para que sea lo primero que el ojo identifique en una crisis. Debe tener varios cajones para organizar medicamentos y laringoscopios. En la parte superior, siempre va el monitor desfibrilador. Su diseño debe transmitir movilidad, ya que es un equipo que se traslada constantemente hacia la cama del paciente".

Gabriel Medina: ¿Alguna recomendación final sobre el ambiente donde irán estos objetos?

Especialista: "La iluminación debe ser fría y potente, típica de un hospital, para resaltar los detalles de cada equipo. La UCI no es un lugar silencioso ya que integra los pitidos constantes de los monitores para que el estudiante aprenda a priorizar la atención bajo estímulos auditivos estresantes".

b. Descripción técnica de activos biomédicos

A continuación, se detallan los elementos fundamentales para el desarrollo de la Sala UCI, cuya disposición sigue los lineamientos de los estándares internacionales de diseño hospitalario, tales como las directrices del Facility Guidelines Institute (FGI) y los consensos de sociedades de medicina crítica, incluyendo específicamente las

recomendaciones para la planificación de unidades de cuidado intensivo descritas por la Sociedad India de Medicina de Cuidados Críticos. Asimismo, este diseño se ajusta a la normativa ISO 11197, la cual regula los sistemas de unidades de suministro médico, asegurando que la ubicación de tomas de gases y conexiones eléctricas cumpla con los estándares de seguridad internacional necesarios para un entorno clínico funcional.

Estos estándares establecen principios fundamentales de zonificación que priorizan la seguridad del paciente, la ergonomía clínica y la eficiencia en el flujo de trabajo del personal médico, garantizando que el diseño del entorno inmersivo sea una representación fiel de un entorno clínico real. La configuración de estos activos se fundamenta en reglas de oro de la ingeniería hospitalaria, las cuales dictan que la ubicación de cada equipo no debe responder a criterios estéticos, sino a una zonificación estratégica que facilite la atención ininterrumpida y el acceso rápido a los dispositivos de soporte vital.

Estos criterios aseguran que los elementos del mobiliario y la tecnología médica se mantengan organizados para evitar obstrucciones en el área de trabajo activa, optimizando así la respuesta ante emergencias y la supervisión hemodinámica continua.

- ***Cama clínica de cuidados críticos***

Es el mobiliario central para el soporte y movilización de pacientes críticos. Posee una estructura articulada con barandillas laterales retráctiles, colchón antiescaras y sistema de ruedas con frenos visibles para aportar realismo al mobiliario base. En [35] se evidencia que la cama debe ubicarse en el centro de la sala o cubículo para permitir el acceso perimetral completo, siendo fundamental para facilitar las maniobras de atención médica, la supervisión continua y el flujo de trabajo ergonómico durante los procedimientos de emergencia dentro del entorno inmersivo.



Figura 16. Referencia visual de cama clínica para modelado 3D

- ***Ventilador mecánico***

Equipo de soporte vital que asiste la función respiratoria del paciente. La representación integra una interfaz digital con gráficas de presión y volumen, además de incluir el circuito de mangueras corrugadas y el pulmón de prueba azul para verificación visual. En [35] se explica que se ubica en el lateral izquierdo de la cama clínica, integrándose en el área de cabecera para centralizar la conectividad de los gases medicinales y asegurar la monitorización respiratoria inmediata, optimizando así la ergonomía clínica y el flujo de trabajo durante la atención del paciente.



Figura 17. Referencia visual de ventilador mecánico

- ***Monitor de signos vitales***

Dispositivo para el registro en tiempo real de constantes fisiológicas. Presenta curvas de colores normativos (verde y azul) y valores numéricos de alta legibilidad para facilitar la vigilancia del estudiante en el entorno virtual. En [35] se evidencia que este

equipo debe situarse en el lateral derecho de la cama clínica, a una altura que permita la visualización directa del personal a nivel de la vista, garantizando una supervisión constante y evitando trastornos cervicales durante el entrenamiento clínico.



Figura 18. Referencia visual de monitor de signos vitales

- ***Bomba de infusión***

Dispositivo utilizado para administrar fármacos de forma controlada. Presenta un diseño compacto con panel numérico y pantalla que indica el flujo en ml/h. En el sistema, se agrupan en torres para simular el manejo de múltiples soluciones. Tal como se establece en [35] respecto a los estándares de equipamiento, estas se ubican en el lateral izquierdo de la cama clínica, integrándose en el espacio de soporte técnico para asegurar la administración precisa de tratamientos terapéuticos y mantener un flujo de trabajo organizado en la zona de cuidados críticos.



Figura 19. Referencia visual de bomba de infusión

- ***Soporte de sueros***

Estructura metálica vertical que sostiene las bolsas de soluciones. Se modeló con una base de ruedas para garantizar la percepción de estabilidad y movilidad, incluyendo ganchos regulables en altura. Siguiendo las directrices de organización de suministros de [35], se ubica en el lateral izquierdo de la cama clínica, junto a las bombas de infusión, integrándose en el sistema de soporte terapéutico para facilitar la administración eficiente de fluidos y medicamentos al paciente.



Figura 20. Referencia visual de soporte de sueros

- ***Carro de paro***

Unidad móvil con equipo y fármacos para reanimación cardiopulmonar. Se utiliza el color rojo intenso para su rápida localización. Su diseño incluye cajones organizados por categorías y una superficie superior para el desfibrilador. Según las recomendaciones de seguridad y emergencia de [35], este se ubica en el lateral derecho de la cama clínica.



Figura 21. Referencia visual de carro de paro

3.2.2 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema se basa en un modelo Cliente-Servidor, diseñado para permitir la interoperabilidad entre el entorno inmersivo de realidad virtual y la plataforma web. Esta estructura garantiza que la lógica de negocio esté centralizada, permitiendo que múltiples clientes consuman y actualicen información de manera síncrona y segura.

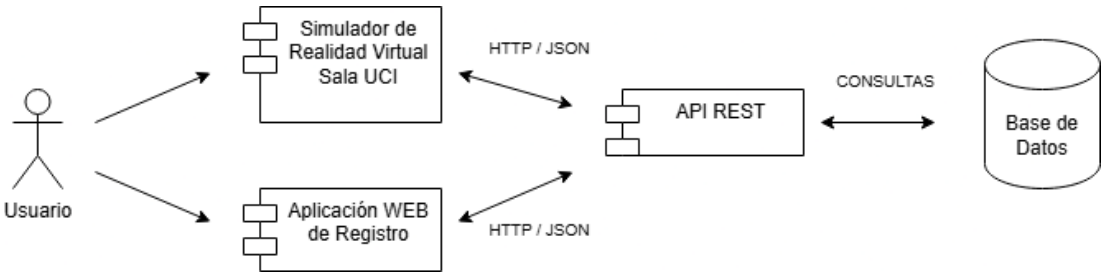


Figura 22. Diagrama de arquitectura

En la Figura 22 se detalla la arquitectura de software estructurada en tres capas principales para el correcto funcionamiento del proyecto. El flujo inicia en la capa de presentación con el simulador en Unity y la plataforma web en los cuales interactúan de forma independiente mediante peticiones HTTP (JSON) hacia la capa de servicios. Finalmente, esta zona intermedia centraliza la lógica de negocio a través de una API REST en NestJS que gestiona de manera segura el almacenamiento y persistencia de la información en la base de datos de PostgreSQL.

- Capa de Presentación (Clientes): Define las interfaces de interacción del sistema según el perfil del usuario:

  Simulador de Realidad Virtual Sala UCI: Desarrollado en Unity 3D, permite al perfil Estudiante acceder al entorno inmersivo para la práctica clínica, encargándose de renderizar los activos biomédicos (como el ventilador mecánico y el monitor de signos vitales) y gestionar las interacciones en tiempo real.

Sistema WEB de Registro: Construido en React, permite al perfil Docente interactuar con la plataforma administrativa para la gestión de usuarios, visualización de resultados y configuración de las salas de simulación.

- Capa de Servicio (Backend - API REST): Actúa como el núcleo de comunicación mediante el framework NestJS. Esta capa recibe las peticiones de ambos clientes a través del protocolo HTTP en formato JSON, encargándose de la autenticación de usuarios y la validación de la lógica de negocio.

- Capa de Persistencia (Base de Datos): Implementada en PostgreSQL, donde se almacena de forma estructurada toda la información referente a perfiles, registros de actividad y configuraciones de los equipos de la unidad de cuidados intensivos.

3.2.3 Planificación de componentes técnicos

Como parte fundamental de la fase de diseño bajo la metodología ágil XP, y tras haber establecido la arquitectura, es necesario estructurar los micro-componentes lógicos que operarán de manera independiente dentro de la solución. Para mapear de forma simple las responsabilidades del software antes del proceso de codificación, se emplea la técnica orientada a objetos de Tarjetas CRC (Clase-Responsabilidad-Colaborador), traduciendo los requerimientos funcionales del análisis en clases lógicas y definiendo paralelamente las Tareas de Ingeniería necesarias para la planificación de las iteraciones de desarrollo en Unity 3D, React y NestJS.

a. Tarjetas CRC (Clase-Responsabilidad-Colaborador)

A continuación, se describen las tarjetas CRC que gobiernan las clases críticas del ecosistema digital, determinando el comportamiento que debe asumir cada objeto de software y las dependencias de comunicación necesarias:

En la Tabla 57 y sus secciones complementarias se detalla la estructura lógica de los componentes que gobiernan el software. El flujo interactivo inicia en la interfaz inmersiva con la clase ManejadorLogin, la cual despliega el panel de acceso y captura las credenciales en realidad virtual colaborando con TecladoVirtualVR y

APIServiceVR para validar el inicio de sesión seguro. Esta organización orientada a objetos distribuye las responsabilidades del sistema entre Unity, NestJS y React, garantizando que cada script y componente se comunique de forma ordenada y eficiente durante la práctica de simulación.

Tabla 57. Tarjeta CRC: Control de autenticación y acceso en VR

Clase: ManejadorLogin	**Tipo: Contol/Interfaz**
Responsabilidades: Desplegar la interfaz gráfica del panel de autenticación en el espacio 3D. Capturar los caracteres ingresados por el usuario a través del teclado virtual interactivo. Enviar las credenciales de acceso al servicio de red para su verificación asíncrona.	Colaboradores: TecladoVirtualVR APIServiceVR

En la Tabla 58 se detalla el comportamiento del componente encargado de la transición de los entornos inmersivos. El flujo operativo se gestiona a través de la clase CargaPasillo, la cual administra la carga asíncrona de los escenarios y controla los disparadores mecánicos de acceso colaborando con LocomocionController y APIServiceVR para regular el paso del usuario y la destrucción segura del token de sesión al salir de la simulación. Esta lógica previene la sobrecarga de memoria en el visor y asegura una navegación fluida hacia la sala clínica.

Tabla 58. Tarjeta CRC: Gestión de escenas y carga dinámica

Clase: CargaPasillo	**Tipo: Contol**
Responsabilidades: Administrar la carga y descarga asíncrona de los entornos virtuales (Pasillo Principal / Sala UCI). Controlar los disparadores de colisión (Triggers) mecánicos ubicados en la puerta de acceso a la sala UCI. Invocar la destrucción del token de sesión en memoria al ejecutar el evento de salida del simulador.	Colaboradores: LocomocionController APIServiceVR

En la Tabla 59 se describe el componente que regula el desplazamiento del usuario en el entorno virtual. La gestión del movimiento se ejecuta mediante la clase LocomocionController, la cual intercepta las entradas de los joysticks analógicos y las traduce en vectores de traslación y rotación para el avatar colaborando con EscenaVRManager para sincronizar los traslados espaciales. Esta lógica controla la velocidad física de la cámara con el fin de mitigar los efectos de la cinetosis durante la práctica.

Tabla 59. Tarjeta CRC: Control de movimiento en primera persona

Clase: LocomocionController	**Tipo: Componente de Interacción**
Responsabilidades: Interceptar los valores de entrada de los joysticks analógicos del visor Meta Quest. Traducir las lecturas de hardware en vectores de traslación y rotación física de la cámara del avatar. Regular la velocidad de movimiento para prevenir problemas de cinetosis en el estudiante.	Colaboradores: EscenaVRManager

En la Tabla 60 se detalla el componente que gestiona el reconocimiento de los activos hospitalarios en la sala clínica. El flujo interactivo se ejecuta mediante la clase EquipoBiomedicoInteractible, la cual almacena la propiedad unity_tag y detecta el impacto del Raycast del controlador colaborando con APIServiceVR para recuperar los datos desde la red y con FichaTecnicaUI para desplegar el lienzo flotante con la información técnica del equipo.

Tabla 60. Tarjeta CRC: Interacción y despliegue de fichas técnicas

Clase: EquipoBiomedicoInteractible	**Tipo: Entidad / Interfaz**
Responsabilidades: Almacenar el identificador unity_tag propio del modelado 3D del equipo. Detectar el impacto del rayo interactivo (Raycast Interactor) disparado por el controlador del usuario. Solicitar los datos técnicos del equipo al servicio de red y activar el lienzo flotante (Canvas UI).	Colaboradores: APIServiceVR FichaTecnicaUI

En la Tabla 61 se especifica el componente encargado de centralizar el acceso seguro al ecosistema digital desde el backend. El flujo operativo se gestiona mediante la clase AuthController, la cual expone los endpoints HTTP de autenticación y retorna el estado del perfil en formato JSON colaborando con UsuarioService para validar las credenciales en la base de datos y con TokenJWTService para la emisión y control de los tokens criptográficos de sesión.

Tabla 61. Tarjeta CRC: Controlador global de sesión y autenticación

Clase: AuthController	**Tipo: Controlador (Backend - NestJS)**
Responsabilidades: Exponer los endpoints HTTP correspondientes al inicio de sesión, cierre de sesión y recuperación de clave. Coordinar con el servicio de seguridad la validación de contraseñas y emisión de tokens JWT. Retornar el estado de autenticación y los privilegios del rol del usuario en formato JSON.	Colaboradores: UsuarioService TokenJWTService

En la Tabla 62 se define el componente encargado de procesar las operaciones de control e integridad de los datos en el servidor. El flujo lógico se ejecuta mediante la clase UciService, la cual administra los métodos CRUD del sistema, cifra las contraseñas y valida las llaves de emparejamiento gráfico colaborando con BaseDatosPostgreSQL para la persistencia de la información.

Tabla 62. Tarjeta CRC: Servicio de gestión y reglas de negocio

Clase: UciService	**Tipo: Servicio (Backend - NestJS)**
Responsabilidades: Procesar la lógica de negocio para las operaciones CRUD de estudiantes, salas y activos hospitalarios. Aplicar funciones de encriptación (Hashing) a las contraseñas antes del almacenamiento. Validar las llaves de emparejamiento gráfico (unity_tag) enviadas desde la plataforma administrativa.	Colaboradores: BaseDatosPostgreSQL CryptoMiddleware

En la Tabla 63 se detalla el componente encargado de la captura y control de nuevos accesos desde el lado del cliente web. El flujo operativo se gestiona mediante la clase RegistroWebContainer, la cual renderiza los formularios de perfil y valida la estructura obligatoria del correo institucional colaborando con ClienteAPIFetch para transmitir de forma asíncrona las peticiones de registro y cambio de clave hacia la API del servidor.

Tabla 63. Tarjeta CRC: Interfaz y formulario de registro de cuentas

Clase: RegistroWebContainer	**Tipo: Componente de Interfaz (React)**
Responsabilidades: Renderizar los formularios de captura de perfiles institucionales y solicitud de cambio de clave. Validar que los campos de texto no se encuentren vacíos y cumplan con la estructura del correo (@uta.edu.ec). Gestionar el envío de peticiones asíncronas hacia la API del servidor.	Colaboradores: ClienteAPIFetch

En la Tabla 64 se describe el componente principal de la interfaz administrativa orientada al control académico. El flujo de supervisión se centraliza en la clase HomeLayout, la cual renderiza las tablas dinámicas de gestión, procesa los filtros de búsqueda y administra la persistencia del token JWT en el Local Storage colaborando con ClienteAPIFetch para sincronizar las modificaciones y bajas del inventario o los perfiles directamente con el servidor.

Tabla 64. Tarjeta CRC: Panel de administración y control docente

Clase: HomeLayout	**Tipo: Componente de Interfaz (React)**
Responsabilidades: Presentar las tablas dinámicas de control para el listado de alumnos, salas de simulación e inventario biomédico. Capturar y transmitir los eventos de filtrado por búsqueda y edición de registros mediante ventanas modales. Alojar y remover el token JWT del almacenamiento local del navegador (Local Storage) para proteger las rutas.	Colaboradores: ClienteAPIFetch

3.2.4 Modelado de comportamiento

El modelado de comportamiento describe la dinámica del sistema mediante la representación de las interacciones temporales entre los objetos. Para esta investigación, se utilizan diagramas de secuencia que detallan el intercambio de mensajes entre el usuario, la interfaz (Web/VR), la API y la base de datos, garantizando la trazabilidad de la información desde el registro hasta la visualización en la sala UCI.

a. Diagramas de secuencia

Los diagramas de secuencia presentan la interacción detallada entre los actores y los componentes del sistema, organizados en una línea de tiempo para visualizar el flujo de control utilizado.

- **Gestión de registro web**

Este flujo representa el proceso inicial donde el usuario crea su identidad digital. Es un paso crítico, ya que la API se encarga de procesar la lógica de seguridad (encriptación) y asegurar la persistencia en la Base de Datos antes de permitir el acceso al entorno virtual.

En la Figura 23 se describe el flujo de interacción cronológico para el registro de nuevos usuarios dentro de la plataforma web. El proceso inicia cuando el Usuario interactúa con el Sistema Web, el cual redirecciona la petición hacia el formulario de captura de datos. Una vez ingresadas las credenciales, se realiza el envío de una petición asíncrona mediante el protocolo HTTP (POST) hacia la API. En esta etapa, la capa de servicios ejecuta la lógica de encriptación de seguridad antes de solicitar la persistencia de la información en la Base de Datos. Finalmente, tras recibir la confirmación de guardado, la API retorna un mensaje de éxito que permite a la interfaz web notificar al usuario sobre la creación correcta de su perfil, garantizando así que su identidad digital esté disponible para el posterior acceso al simulador de realidad virtual.

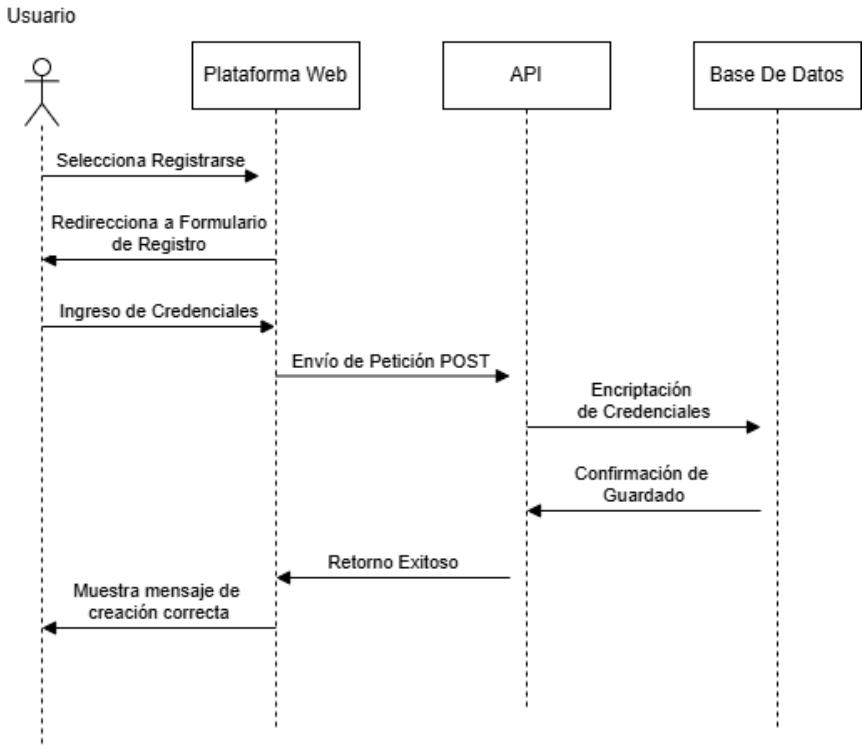


Figura 23. Diagrama de secuencia registro web

- **Acceso y simulación en entorno de realidad virtual**

Una vez que el usuario cuenta con credenciales válidas, el flujo se traslada al simulador. En esta etapa, la interacción principal se centra en la recuperación de sesiones mediante tokens de seguridad (JWT) y la carga dinámica de los activos de la sala UCI previamente validados.

En la Figura 24 se detalla la secuencia de interacciones necesaria para el acceso y ejecución del entorno inmersivo. El flujo comienza cuando el Estudiante ingresa sus credenciales directamente en la interfaz de Realidad Virtual. El sistema procesa esta entrada y envía una petición de inicio de sesión hacia la capa de servicios (API), la cual se encarga de consultar y contrastar la información en la Base de Datos. Tras validar la existencia y permisos del perfil, el servidor retorna un identificador de seguridad que autoriza al simulador a continuar con la carga del escenario. Una vez establecida la sesión, el entorno despliega el pasillo principal como zona de transición desde este punto, el usuario debe dirigirse y cruzar la puerta de acceso para ingresar a la Sala UCI. Finalmente, la secuencia concluye con el reconocimiento de los equipos biomédicos y el inicio formal de la práctica clínica.

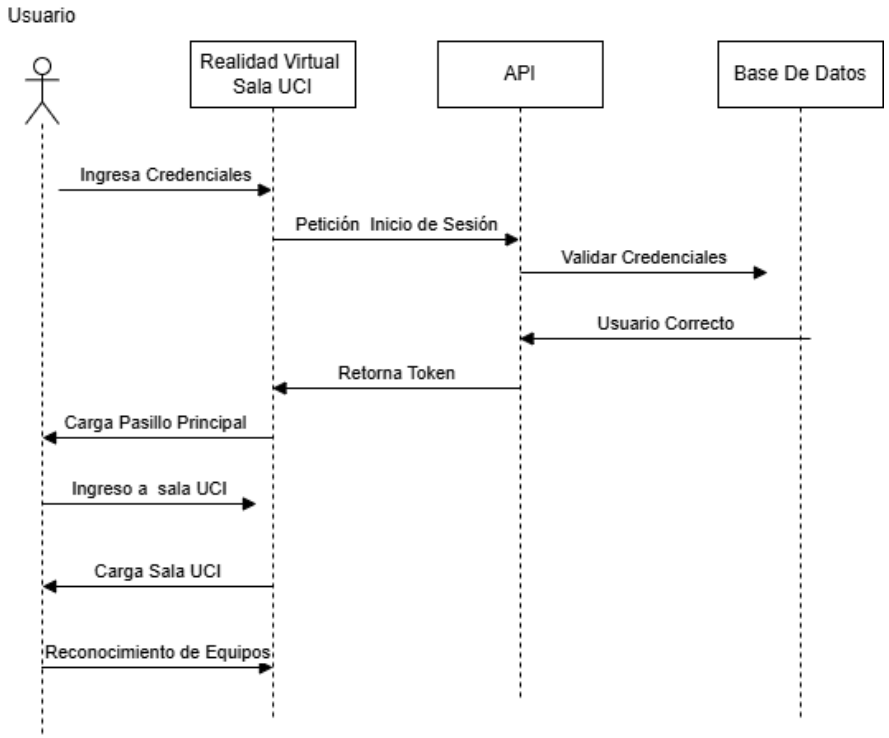


Figura 24. Diagrama de secuencia realidad virtual UCI

3.2.5 Diseño de la persistencia de datos

El diseño de la persistencia de datos define la estructura lógica y relacional necesaria para garantizar el almacenamiento seguro, la integridad y la disponibilidad de la información compartida entre la plataforma web y el simulador de realidad virtual. Para este ecosistema digital, se ha diseñado una base de datos relacional orientada a objetos que centraliza el control de accesos, la organización académica y el registro detallado del comportamiento del estudiante durante la interacción inmersiva.

Esta capa de persistencia se fundamenta en principios de normalización estricta, lo que minimiza la redundancia de datos y asegura que cada entidad, desde los perfiles de los usuarios hasta los tags de emparejamiento de los dispositivos biomédicos, mantenga una relación coherente y verificable.

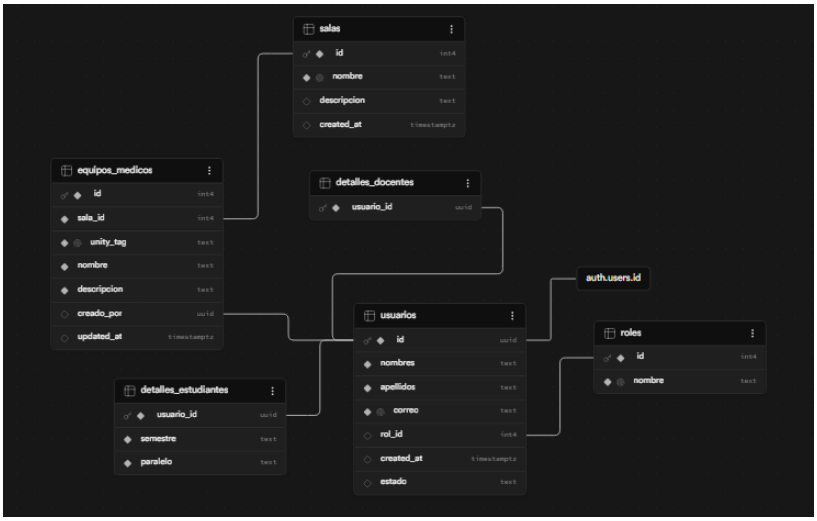


Figura 25. Diseño de la base de datos

En la Figura 25 se detalla el esquema relacional de la base de datos, el cual está diseñado para la gestión de usuarios, el control de accesos y la administración de los entornos clínicos. El núcleo de seguridad se centraliza en la tabla usuarios (vinculada al proveedor de autenticación externa), la cual se especializa mediante relaciones uno a uno hacia las tablas detalles_docentes y detalles_estudiantes según el perfil académico, regulado por la tabla maestra de roles. Asimismo, el sistema gestiona los datos de simulación mediante la tabla salas, la cual mantiene una relación de uno a muchos con equipos_medicos para organizar el instrumental biomédico y permitir su sincronización con el motor gráfico a través del campo identificador del tag de Unity.

3.2.6 Diseño de los elementos del entorno virtual de una unidad de cuidados intensivos.

El diseño del entorno virtual se centra en la estructuración, escala y optimización de los elementos espaciales y objetos biomédicos dentro del motor de desarrollo Unity 3D. Para garantizar una inmersión efectiva y evitar la sobrecarga cognitiva de los estudiantes de enfermería, se aplicaron criterios de diseño Low Poly (baja densidad poligonal) combinados con texturizado basado en materiales físicos, asegurando que el escenario mantenga una tasa de refresco óptima y fluida para visores de realidad virtual autónomos.

b. Zona de transición y conectividad (pasillo principal)

El pasillo principal se diseñó como un entorno de preparación y amortiguación cognitiva. Su propósito arquitectónico es permitir que el usuario se adapte progresivamente a la escala del entorno virtual y al sistema de locomoción antes de ingresar a un área de alta complejidad médica. Este espacio conecta de manera fluida la escena inicial con el acceso definitivo a la unidad de cuidados intensivos.

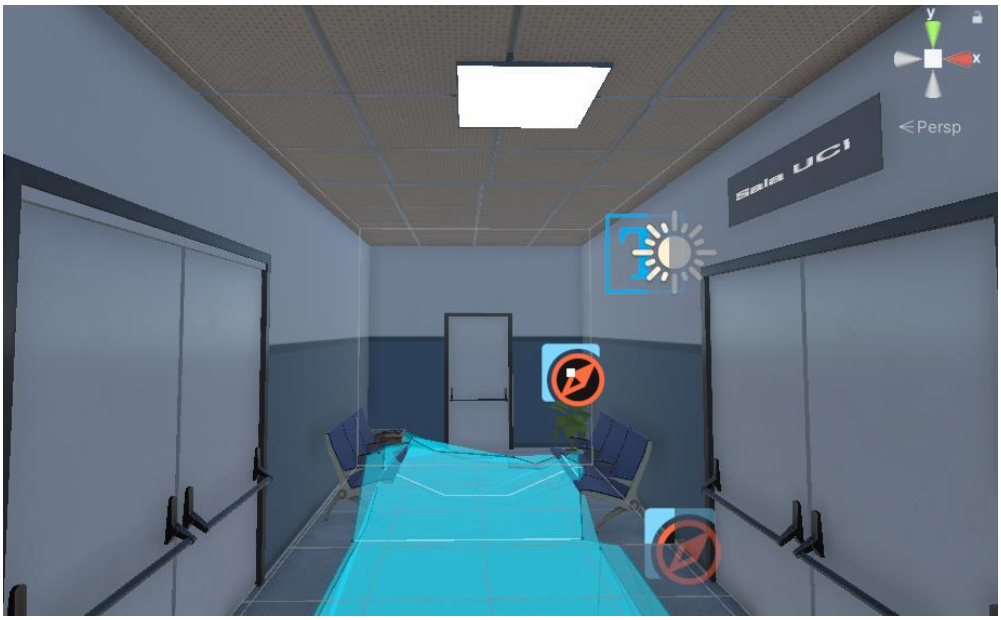


Figura 26. Diseño de pasillo principal

En la Figura 26 se observa el diseño tridimensional de la zona de transición correspondiente al pasillo principal del entorno inmersivo. El espacio fue estructurado bajo una lógica arquitectónica hospitalaria que simula un área de espera y circulación real, incorporando elementos de mobiliario base y señalética técnica como el rótulo de acceso a la sala UCI. Este entorno actúa como un componente de acondicionamiento ergonómico y psicológico, permitiendo al estudiante familiarizarse con la escala del escenario y el sistema de locomoción por teletransportación antes de cruzar la puerta de ingreso hacia el cubículo de cuidados críticos, mitigando así los efectos de la cinetosis y optimizando la inmersión en la práctica subsiguiente.

c. Cama clínica de cuidados críticos

Es el mobiliario central para el soporte y movilización de pacientes en estado crítico. Su diseño tridimensional contempla parámetros de alta fidelidad para asegurar el reconocimiento técnico de sus componentes principales durante la práctica clínica.

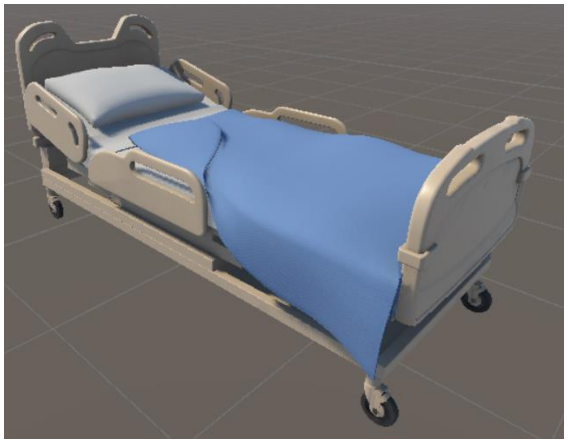


Figura 27. Diseño tridimensional de la cama clínica de cuidados críticos

En la Figura 27 se detalla el modelo tridimensional definitivo de la cama clínica para la sala UCI. El diseño incorpora una estructura segmentada y articulada que simula mecánicamente las posiciones clínicas de Fowler y Trendelenburg necesarias para la manipulación del paciente. Asimismo, se integraron elementos visuales técnicos clave como las barandillas laterales de seguridad móviles, un panel de control digital en la estructura y ruedas con sus respectivos sistemas de bloqueo. Adicionalmente, el colchón fue texturizado bajo un patrón antiescaras, garantizando un alto grado de fidelidad visual frente al mobiliario hospitalario real para un correcto entrenamiento inmersivo.

d. Ventilador mecánico

Es el equipo de soporte vital de alta complejidad diseñado para asistir de manera artificial la función respiratoria del paciente crítico. Su modelado e interfaz gráfica integran componentes específicos orientados a que el estudiante reconozca de manera inmediata los parámetros operativos del sistema neumático.

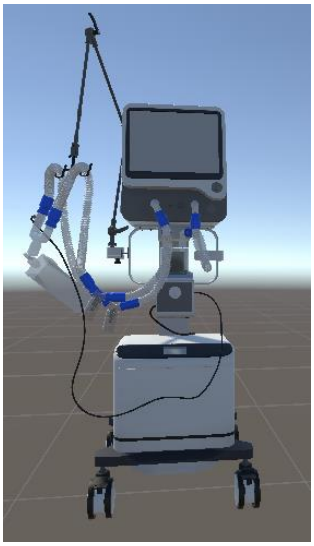


Figura 28. Diseño tridimensional del ventilador mecánico

En la Figura 28 se detalla el modelo tridimensional definitivo del ventilador mecánico implementado en la sala UCI. El diseño incorpora la representación anatómica del circuito de mangueras corrugadas que simulan la vía aérea del paciente y se conectan a un pulmón de prueba de caucho en color azul normativo, sirviendo como un indicador visual directo para comprobar el estado operativo del flujo de aire. Asimismo, la interfaz del monitor digital fue diseñada simulando curvas dinámicas de presión y volumen con valores numéricos de alta legibilidad.

Esta configuración espacial e iconográfica proporciona los estímulos técnicos necesarios para que el estudiante de enfermería asimile las condiciones de funcionamiento del equipo real durante las prácticas inmersivas.

e. Monitor de signos vitales

Dispositivo electrónico biomédico diseñado para el registro, procesamiento y despliegue continuo de las constantes fisiológicas en tiempo real del paciente crítico. Su modelado prioriza la legibilidad cromática y formal de las ondas para facilitar la vigilancia clínica dentro del entorno inmersivo.



Figura 29. Diseño tridimensional del monitor de signos vitales.

En la Figura 29 se muestra el modelo tridimensional definitivo del monitor de signos vitales desarrollado para el cubículo de la sala UCI. El diseño se centra en una interfaz gráfica de alta fidelidad que incluye la representación de tres ondas principales distribuidas verticalmente: una onda superior de color verde para el electrocardiograma, una onda central de color amarillo y una onda inferior de color azul para la oximetría de pulso. Asimismo, en el lateral derecho se incorporaron los recuadros con los valores numéricos correspondientes a cada constante y un botón de alarma visible en la base de la pantalla.

Esta representación gráfica ha sido optimizada para asegurar una legibilidad clara dentro del entorno de realidad virtual, manteniendo una escala coherente con el equipamiento clínico real. La distribución estratégica de los indicadores permite al estudiante identificar rápidamente cambios críticos en las constantes vitales, simulando con precisión la respuesta visual ante eventos médicos.

f. Bomba de infusión

Dispositivo biomédico electrónico utilizado para administrar fármacos, fluidos o nutrientes de forma controlada y precisa al paciente. Su diseño contempla parámetros de alta fidelidad para la configuración exacta de dosis en entornos de cuidados críticos.

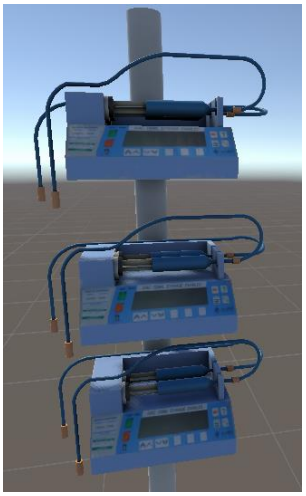


Figura 30. Diseño tridimensional de la bomba de infusión

En la Figura 30 se detalla el modelo tridimensional definitivo de la bomba de infusión implementado en la sala UCI. El diseño presenta una estructura compacta que incorpora un teclado numérico frontal diseñado para la programación manual de los parámetros de infusión, acompañado de una pantalla digital orientada a indicar el flujo de dosificación en mililitros por hora (ml/h).

g. Soporte de sueros

Estructura metálica vertical diseñada para sostener de manera segura las bolsas de soluciones intravenosas y los equipos modulares de infusión periférica junto a la cama del paciente.

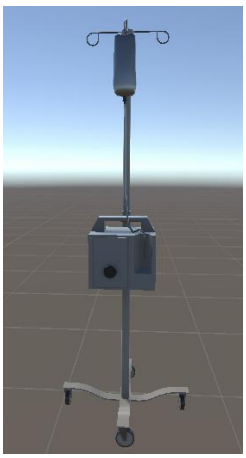


Figura 31. Diseño tridimensional del soporte de sueros

En la Figura 31 se muestra el modelo tridimensional definitivo del soporte de sueros desarrollado para el cubículo clínico. El activo se estructuró con un eje central metálico que integra ganchos superiores regulables en altura para colgar los diferentes fluidos clínicos. Asimismo, la base cuenta con un sistema de ruedas diseñado para transmitir la percepción de movilidad y estabilidad necesaria dentro del espacio de trabajo. Este diseño permite recrear la disposición típica en forma de torre de infusión al acoplar múltiples bombas sobre su eje, garantizando un entorno ergonómico y realista para las prácticas inmersivas.

h. Carro de paro

Unidad móvil compacta y equipada que centraliza los medicamentos, equipos y suministros indispensables para la reanimación cardiopulmonar y la atención de emergencias críticas. Su diseño prioriza la rápida localización visual y la organización estructurada de sus componentes.

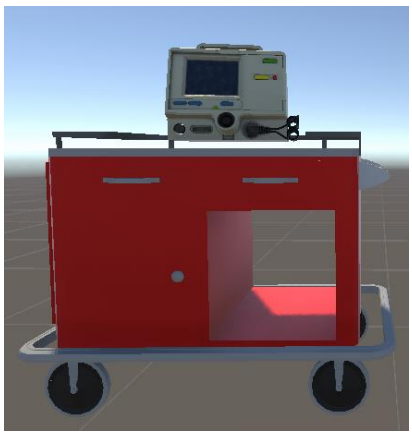


Figura 32. Diseño tridimensional del carro de paro

En la Figura 32 se muestra el modelo tridimensional definitivo del carro de paro desarrollado para el entorno inmersivo de la sala UCI. El diseño incorpora la aplicación del color rojo intenso normativo a nivel hospitalario para asegurar su identificación inmediata en situaciones de crisis simuladas. La estructura consta de un cuerpo principal con cuatro cajones organizados volumétricamente por categorías de medicamentos e insumos, una manija lateral para su transporte, y un sistema de ruedas en la base que transmite la percepción de movilidad requerida. Adicionalmente, en la superficie superior se modeló y dispuso el espacio específico para la colocación del

monitor desfibrilador. Esta distribución e iconografía técnica garantizan que el estudiante de enfermería reconozca con precisión este activo crítico durante la práctica dentro del simulador.

a. Distribución espacial de la sala UCI

La escena central del simulador se diseñó respetando estrictamente el flujo de trabajo de un hospital real. Los elementos se organizaron de manera jerárquica, situando la cama clínica en el centro del cubículo, rodeada de forma estratégica por los equipos de soporte vital y monitoreo para permitir un acceso ergonómico y visual de 360 grados por parte del usuario, optimizando el espacio para el reconocimiento de los activos biomédicos.



Figura 33. Diseño de sala UCI

En la Figura 33 se presenta el diseño tridimensional definitivo del cubículo de la Sala UCI. El escenario se estructurará bajo una rigurosa disposición ergonómica que sitúa la cama clínica de cuidados críticos en el eje central. A partir de este núcleo, se integrará la torre con las bombas de infusión y el soporte de sueros a un costado, el ventilador mecánico con su respectivo circuito neumático de soporte vital en el flanco izquierdo, y el carro de paro en color normativo junto al monitor de signos vitales en posiciones estratégicas de alta visibilidad. Esta distribución espacial respetará las distancias y los flujos operativos reales de un entorno hospitalario, garantizando que

el estudiante de enfermería disponga de un acceso libre de obstáculos para realizar de forma correcta el reconocimiento visual y técnico de cada activo biomédico.

3.2.7 Diseño de interfaces (UX/UI)

Este apartado comprende la planificación visual y funcional de las interfaces de usuario con las que interactúan los diferentes actores del sistema. El diseño se enfoca en optimizar la experiencia de usuario (UX) mediante una distribución intuitiva de elementos, dividiéndose en la interfaz bidimensional orientada a la administración académica y la interfaz espacial inmersiva para el acceso seguro al simulador.

a. Plataforma web

La interfaz de la aplicación web fue diseñada bajo principios de usabilidad responsiva, priorizando la facilidad de navegación para el personal docente y administrativo. Para el proceso de maquetación y diseño visual de las pantallas, se utilizó la herramienta avanzada de prototipado Figma, lo que permitió estructurar un entorno limpio con menús intuitivos y formularios simplificados que facilitan la consulta y edición de información de manera ágil y sin sobrecarga cognitiva.

- ***Prototipado de inicio de sesión web***

Corresponde al punto de acceso inicial de la plataforma web administrativa en entornos de escritorio y dispositivos móviles. Está diseñado para capturar de manera segura las credenciales del docente a través de un formulario centralizado y minimalista que reduce las distracciones visuales.

La interfaz implementa un diseño responsivo que se adapta automáticamente a diferentes resoluciones de pantalla, asegurando que la experiencia de usuario sea consistente tanto en estaciones de trabajo de laboratorio como en dispositivos de mano. Esta optimización visual se complementa con una validación de campos en tiempo real que mejora la eficiencia del proceso de ingreso, permitiendo una interacción rápida y sin fricciones desde el primer contacto.



Figura 34. Inicio de sesión web

En Figura 34 se detalla el prototipo de alta fidelidad correspondiente al inicio de sesión web del sistema administrativo desarrollado en la herramienta Figma. El diseño presenta un panel limpio y simétrico que incluye campos de texto específicos para el ingreso del correo electrónico institucional y la contraseña, respaldados por un botón de acción principal de alto contraste. Esta disposición de la interfaz asegura que el usuario pueda autenticar su identidad de forma ágil y directa.

- ***Prototipado de recuperación de contraseña web***

Corresponde a la interfaz alternativa diseñada para la gestión de credenciales en caso de olvido o pérdida de acceso. Sigue la misma línea estética y simplificada del sistema, orientando al usuario mediante instrucciones directas para el restablecimiento seguro de su cuenta.

Este módulo de recuperación incorpora un flujo de pasos claramente delimitado, que minimiza la carga cognitiva del usuario al solicitar únicamente la información estrictamente necesaria para validar su identidad.

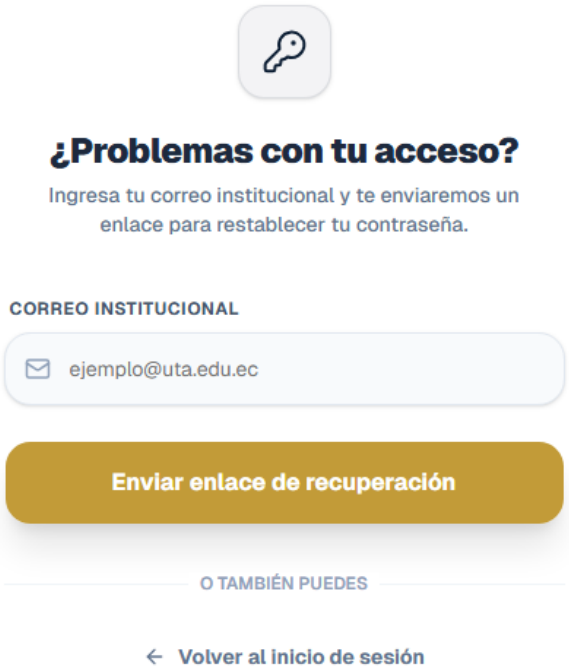


Figura 35. Diseño de recuperar contraseña web

En la Figura 35 se detalla el prototipo de alta fidelidad para la recuperación de credenciales de la plataforma web administrativa. El diseño prioriza la usabilidad y la claridad cognitiva al presentar un único campo de texto limpio para la captura del correo electrónico institucional, acompañado de un botón principal de acción para el envío de la solicitud. Esta estructura de interfaz reduce la fricción en el usuario y garantiza un flujo seguro y directo hacia la capa de servicios (API) para gestionar el proceso de restablecimiento de accesos.

- ***Prototipado de registro de usuarios web***

Corresponde a la pantalla diseñada para que los alumnos puedan registrarse por sí mismos en la plataforma web ingresando sus datos académicos para poder usar el simulador. Esta interfaz ha sido estructurada para simplificar el proceso de alta, solicitando únicamente la información académica esencial requerida para el control y seguimiento del estudiante dentro del sistema.

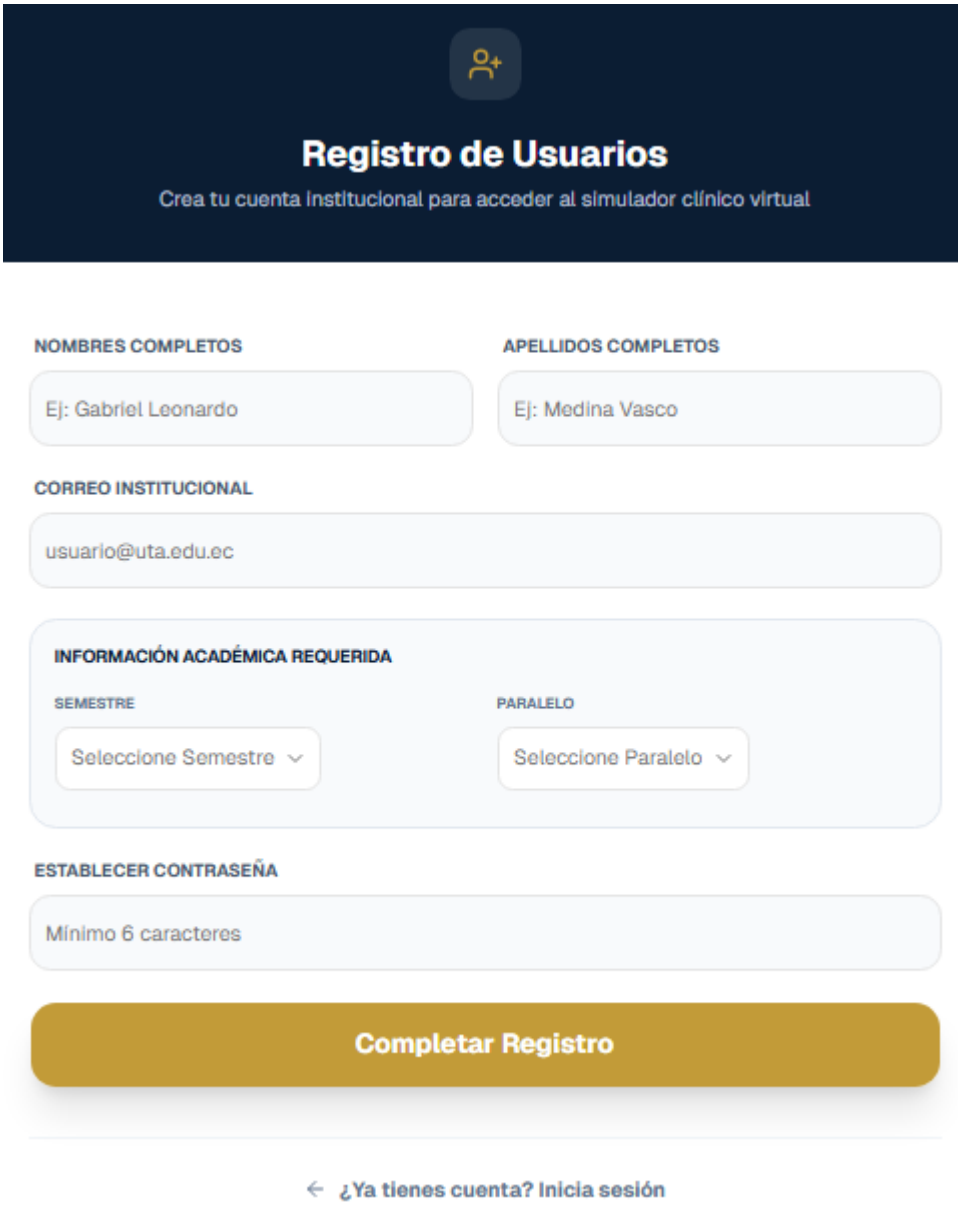


Figura 36. Diseño de registro usuarios web

En la Figura 36 se muestra el diseño para el registro de estudiantes en la plataforma web. La pantalla contiene un formulario estructurado con campos para ingresar los nombres, apellidos, correo electrónico institucional y la contraseña. Además, incluye listas desplegables obligatorias para que el alumno seleccione el Semestre y el Paralelo al que pertenece. Este diseño limpio permite que el estudiante cree su cuenta de forma rápida y sin confusiones, asegurando que su perfil quede correctamente guardado y clasificado en la base de datos antes de ingresar al entorno de realidad virtual.

- ***Prototipado de restablecimiento de nueva contraseña web***

  Corresponde a la pantalla final diseñada para que el usuario pueda ingresar su nueva contraseña y confirmarla, completando de manera segura el proceso de recuperación de acceso a la plataforma.



Figura 37. Diseño de restablecer contraseña

En la Figura 37 se muestra el diseño de la pantalla para restablecer la contraseña. La interfaz presenta un panel centrado y limpio con dos campos de texto específicos: uno para ingresar la nueva contraseña y otro para confirmarla, acompañados de un botón principal de acción para guardar los cambios. Esta disposición sencilla e intuitiva guía al usuario en el paso final del flujo de seguridad.

- ***Prototipado de panel de control web***

Corresponde a la pantalla principal diseñada para que el docente pueda visualizar, buscar y administrar de forma organizada la lista de todos los estudiantes registrados que utilizan el simulador.

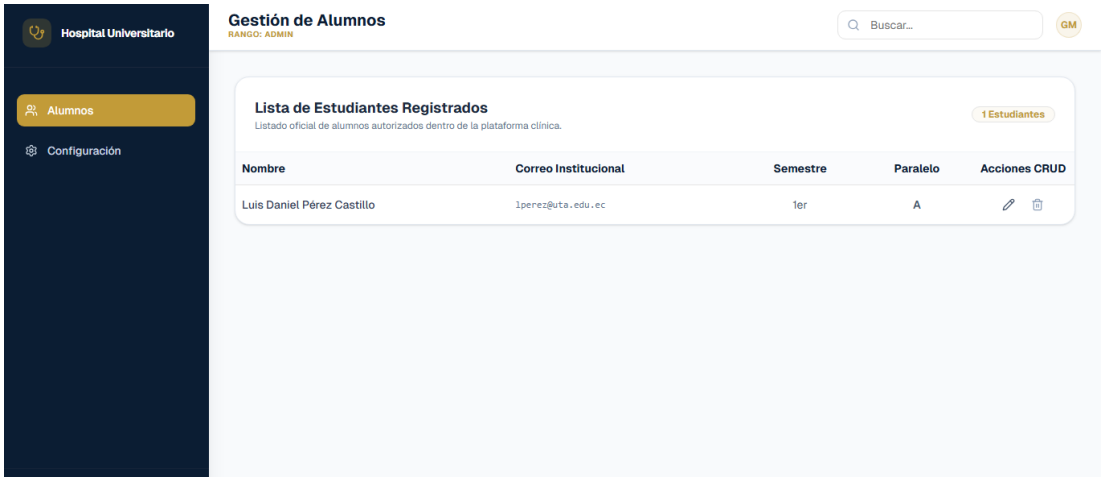


Figura 38. Diseño de dashboard web alumnos

En la Figura 38 se muestra el diseño de la sección de alumnos dentro del panel de control web. La pantalla presenta una estructura ordenada con un menú lateral de navegación y una tabla central que lista los nombres, apellidos, correo electrónico institucional, semestre y paralelo de cada estudiante. Además, incluye componentes interactivos como una barra de búsqueda superior y botones de acción rápida para editar o eliminar registros. Esta disposición limpia facilita el control académico, permitiendo al docente realizar un seguimiento directo y sin complicaciones de los estudiantes usuarios del sistema.

- **Prototipado de panel de configuración web:** Corresponde a la pantalla diseñada para que el administrador pueda gestionar permisos y roles dentro del sistema.

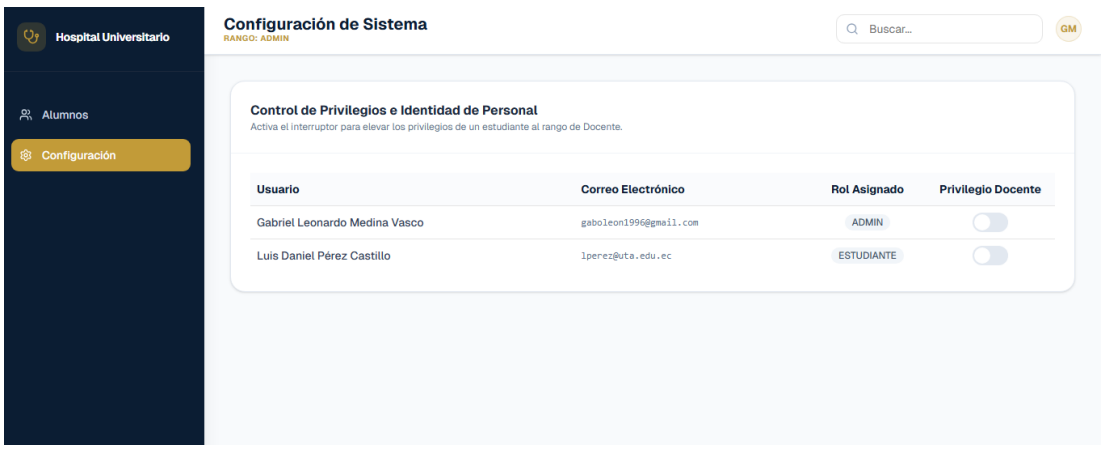


Figura 39. Diseño de panel de configuración web

En la Figura 39 se muestra el diseño del panel de configuración para la gestión de permisos. La pantalla presenta una interfaz administrativa que permite visualizar de manera clara los roles asignados del sistema (como Docente o Estudiante) y controlar de forma segmentada las acciones permitidas para cada perfil. Esta distribución limpia e intuitiva facilita la administración de la seguridad del ecosistema.

- **Prototipado de formulario modal de edición de estudiantes:** Corresponde a la interfaz emergente diseñada para que el administrador pueda modificar y actualizar los datos personales o académicos de un estudiante seleccionado sin necesidad de abandonar la pantalla principal.



Figura 40. Diseño de formulario modal de edición de estudiantes

En la Figura 40 se muestra el diseño del formulario modal para la edición de datos de estudiantes. La interfaz se despliega sobre la tabla general del panel de control y presenta campos precargados con la información del alumno, permitiendo modificar de forma directa sus nombres, apellidos, correo electrónico institucional, semestre y paralelo.

3.2.8 Validación técnica del diseño

Para verificar la consistencia, el realismo y la fidelidad técnica de la sala UCI antes de iniciar su desarrollo en el motor de desarrollo, se aplicó la técnica de juicio de expertos mediante un método de contrastación de requisitos. Esta evaluación analiza las características plasmadas en los planos y modelos tridimensionales frente a los requerimientos cualitativos recopilados en la fase de análisis clínico.

Para este proceso, se utilizó como instrumento una matriz de validación de diseño Técnico, la cual permite registrar de manera cuantitativa el nivel de correspondencia mediante una escala de medición absoluta. Este instrumento actúa como un filtro de calidad crítico, donde profesionales del área clínica contrastan cada elemento modelado contra las normativas vigentes de infraestructura hospitalaria.

Valor 1 (Cumple): Si el elemento tridimensional incluye la totalidad de los atributos morfológicos y funcionales solicitados.

Valor 0 (No Cumple): Si el elemento presenta omisiones o no se ajusta a la norma técnica hospitalaria.

El cálculo matemático para determinar el Porcentaje de Fidelidad (PF) de cada elemento del entorno virtual de la sala UCI se realiza mediante la siguiente relación:

$$P = \left(\frac{Atributos\ Diseñados}{Atributos\ Solicitados}\right) * 100 \qquad (3)$$

b. Matriz de contrastación técnica

A continuación, se detallan los valores numéricos obtenidos al evaluar el diseño de los componentes principales de la sala UCI.

Tabla 65. Matriz de contrastación y porcentaje de fidelidad de los activos biomédicos de sala UCI

Elemento evaluado	Atributos clínicos solicitados	Atributos verificados	Ítems solicitados	Ítems cumplidos	Grado de fidelidad (%)
Cama Clínica	Chasis articulado. Barandillas laterales. Panel de control integrado. Frenos de ruedas visibles. Colchón antiescaras.	Se modeló la estructura segmentada con barandillas móviles, colación de texturas médicas y sistemas de bloqueo en la base.	5	5	100%
Ventilador Mecánico	Circuito de mangueras corrugadas. Pantalla con gráficas de presión. Pantalla con gráficas de volumen. Pulmón de prueba de caucho azul.	Se integró el circuito neumático completo, el mapeo de curvas biomédicas en la interfaz.	4	4	100%
Monitor de Signos Vitales	Curva ECG (Verde). Curva Saturación (Azul). Curva Presión (Amarillo/Rojo). Botón de alarma visible.	Se diseñó la pantalla con las constantes fisiológicas normadas por color y el indicador de alertas críticas a gran escala.	4	4	1 00%
Bomba de Infusión	Diseño de botones numéricos. Indicador de flujo en ml/h.	Se estructuró el módulo independiente con su botonera frontal y pantalla de	4	4	100%

Elemento evaluado	Atributos clínicos solicitados	Atributos verificados	Ítems solicitados	Ítems cumplidos	Grado de fidelidad (%)
	Estructura compacta. Pantalla digital para programación.	flujo analizada.			
Soporte de Sueros	Eje central metálico. Ganchos superiores regulables. Base con sistema de ruedas. Soporte para disposición en torre.	Se modeló el parante vertical con ganchos para soluciones y ruedas en la base que permiten el acople de múltiples bombas.	4	4	100%
Carro de Paro	Color rojo intenso normativo. Cajones organizados por bandejas. Superficie para desfibrilador. Percepción de movilidad (ruedas).	Se aplicó el color de seguridad HEX #FF0000, la volumetría de gavetas y el espacio superior para el monitor cardíaco.	4	4	100%

El análisis consolidado de la Tabla 65 registra que, de un total de 25 requerimientos específicos de fidelidad visual y operativa exigidos para el reconocimiento técnico en enfermería, los 25 fueron integrados de manera exacta en los modelos virtuales individuales. Esto arroja un resultado absoluto de 25/25 ítems aprobados, lo que representa un 100% de grado de fidelidad técnica en el diseño del entorno virtual.

Esta correspondencia exacta demuestra de manera implícita que la morfología, escala y distribución de los equipos de la Sala UCI no responden a criterios arbitrarios, sino que replican fielmente la lógica hospitalaria real. Con esta validación técnica y de cobertura, los activos tridimensionales quedan completamente consolidados,

asegurando una base libre de inconsistencias para dar paso a la fase de programación e interactuación dentro del motor de desarrollo Unity 3D.

3.3 Codificación e implementación

En esta fase se realiza la construcción e implementación integral de los componentes que integran el ecosistema digital, abarcando el desarrollo de la lógica de servicios en el servidor (Backend), las interfaces de control académico en la plataforma web (Frontend) y el entorno interactivo de Realidad Virtual dentro del motor Unity 3D. A través de este proceso de codificación unificado, se transforman los prototipos previos en un sistema de simulación funcional para los visores Meta Quest 3, permitiendo que la persistencia de datos, la administración de usuarios y las mecánicas inmersivas de la sala UCI operen de forma síncrona y centralizada.

3.3.1 Codificación del sistema

La etapa de codificación se dividió estratégicamente entre el desarrollo de la lógica de servicios en el servidor, las interfaces de gestión en la plataforma web y las mecánicas interactivas dentro del motor de desarrollo Unity 3D.

a. Flujo de trabajo

La gestión del repositorio de código se estructuró bajo el modelo de trabajo GitFlow, adaptado estratégicamente para el ciclo de vida de este proyecto. El repositorio se organizó mediante el uso de dos ramas de persistencia a largo plazo y múltiples ramas efímeras dedicadas al desarrollo de características específicas:

Rama main: Aloja el código fuente definitivo, estable y completamente probado del sistema, representando las versiones de producción listas para su despliegue final.

Rama develop: Actúa como el entorno de integración central donde se acoplan los incrementos funcionales finalizados de cada historia de usuario antes de ser transferidos a la rama principal.

Ramas feature/: Ramas temporales creadas de forma exclusiva para el desarrollo de cada una de las 13 historias de usuario (por ejemplo, feature/login-vr, feature/fichas-

tecnicas o feature/crud-salas), las cuales nacen de la rama develop y se fusionan de vuelta mediante solicitudes de extracción (Pull Requests) una vez completada su codificación al cierre de cada iteración temporal.

b. Estructura backend

El núcleo del servidor fue construido utilizando el framework NestJS bajo una arquitectura modular. En esta capa se programaron los controladores encargados de interceptar las solicitudes HTTP y gestionar las reglas de negocio críticas del ecosistema.

- ***Dependencias de la API***

Las dependencias utilizadas en la API se gestionaron mediante npm (Node Package Manager), el cual es el gestor de paquetes estándar para el entorno de ejecución Node.js que permite instalar, actualizar y estructurar las librerías necesarias mediante un archivo de configuración llamado package.json. En el Anexo D se muestra el archivo con el listado y versiones de los paquetes requeridos.

- ***Configurar variables de entorno de la API***

Para la configuración de las variables de entorno de la API se utilizó un archivo .env, el cual almacena de forma segura las propiedades críticas de la aplicación sin exponerlas directamente en el código fuente. Este archivo contiene parámetros esenciales como las credenciales y la URL de conexión a la base de datos relacional PostgreSQL, el puerto de escucha del servidor local, los parámetros del protocolo de envío de correos y la clave secreta (secret key) utilizada para la firma de tokens de seguridad. El contenido estructurado de este archivo se presenta en el Anexo E.

- ***Configuración de la seguridad de la API***

Para garantizar la protección de la información académica y el control de accesos, se implementó una estrategia de autenticación basada en JWT (Json Web Token) integrada con el sistema de Guards que proporciona de forma nativa el framework NestJS. Este mecanismo actúa como un middleware encargado de interceptar cada solicitud HTTP entrante, extraer el token del encabezado de autorización y verificar

su validez criptográfica con la clave secreta del servidor, comprobando síncronamente si el usuario posee el rol autorizado (Docente, Estudiante o Administrador) para interactuar con los recursos del simulador y la plataforma web. La codificación de este flujo de seguridad se detalla en el Anexo F.

- ***Acceso y persistencia de datos***

Para administrar el acceso y el almacenamiento persistente de los datos en el servidor, se optó por la ejecución de sentencias SQL relacionales directamente sobre el motor PostgreSQL. Este enfoque permite estructurar consultas precisas mediante filtros avanzados para realizar cruces de información en tiempo real entre las tablas de usuarios y roles, equipos_médicos, detalle_estudiantes, detalle_docentes y salas.

Asimismo, en estricto cumplimiento de la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (LOPDP) del Ecuador, esta arquitectura garantiza los principios de seguridad y confidencialidad de la información, impidiendo la manipulación externa de los registros y aislando las credenciales y datos sensibles de los estudiantes y docentes dentro de esquemas protegidos del motor.

- ***Validación de datos***

Para asegurar que la información transmitida hacia el servidor no contenga campos vacíos, estructuras corruptas o formatos inválidos, se integró la librería class-validator. Esta herramienta permite establecer reglas de integridad estrictas mediante el uso de decoradores en los objetos de transferencia, validando los datos de entrada en las solicitudes HTTP antes de que ingresen a la capa de negocio. El comportamiento y las reglas aplicadas en estas clases de validación se exponen en el Anexo G.

- ***Envío de correos electrónicos***

Para la gestión de alertas del sistema y el flujo de recuperación de accesos de los usuarios, la API se integró de forma directa con las funciones de mensajería del módulo de autenticación centralizado. Este componente automatiza el despacho de notificaciones y la generación de enlaces dinámicos de seguridad, conectándose de manera síncrona con el protocolo SMTP institucional para enviar los correos de

restablecimiento de contraseñas de forma directa hacia las cuentas de los estudiantes y docentes de Enfermería, tal como se evidencia en el Anexo H.

- ***Módulos***

El framework NestJS permitió organizar la arquitectura global de la API en módulos independientes y bien definidos. Cada módulo se encarga de agrupar y encapsular sus propios controladores, servicios y objetos de transferencia, promoviendo la reutilización de código, el desacoplamiento de componentes y la fácil escalabilidad del ecosistema ante futuras ampliaciones que serán escalables. La arquitectura de módulos del backend se visualiza en el Anexo I.

- ***Controladores***

Los controladores en NestJS corresponden a las clases encargadas de exponer los puntos de acceso o endpoints de la API REST, interceptando las peticiones HTTP (GET, POST, PUT, DELETE) enviadas desde la plataforma web y de forma inalámbrica desde el simulador en Unity 3D. En esta capa se programaron específicamente los controladores del módulo de autenticación para el control de accesos, así como los controladores del módulo UCI encargados de gestionar las operaciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Borrar) tanto para la administración de las salas virtuales como para el inventario de los equipos médicos. Estas clases procesan cada solicitud, validan los permisos de rol y retornan las respuestas correspondientes en formato JSON, cuya estructura de codificación se detalla en el Anexo J.

- ***Servicios***

Los servicios constituyen el núcleo operacional del backend, al ser las clases donde se programa la lógica de negocio que da soporte tanto a la plataforma web como al simulador de Realidad Virtual. En esta capa se implementaron específicamente las funciones encargadas de procesar la verificación de credenciales en el módulo de autenticación (Auth) y de consultar y cargar de manera dinámica la información técnica de los equipos médicos dentro de la sala UCI, ejecutando las sentencias SQL correspondientes para interactuar con la base de datos relacional. Estas clases se

integran en los controladores mediante el patrón de inyección de dependencias, tal como se detalla en el Anexo K.

- ***DTO (Data Transfer Object)***

Los DTO se implementaron como clases destinadas a definir la forma y estructura exacta de los datos requeridos para el intercambio de información entre los clientes y la API. El uso de DTOs previene la inyección de propiedades maliciosas, optimiza el rendimiento de la red al transferir únicamente los atributos necesarios y mitiga errores en tiempo de ejecución, según se aprecia en el Anexo L.

- ***Documentación de la API***

Con el propósito de proveer un entorno estandarizado para pruebas de integración y documentar el funcionamiento técnico del servidor, se integró la librería Swagger. Esta herramienta genera una interfaz interactiva dinámica basada en los decoradores y metadatos del código fuente, permitiendo examinar, estructurar y testear en tiempo real los parámetros y formatos de respuesta de los endpoints expuestos en la ruta local /api-docs. El diseño interactivo de esta documentación técnica y el listado de rutas de autenticación del ecosistema se presenta en la Figura 41.

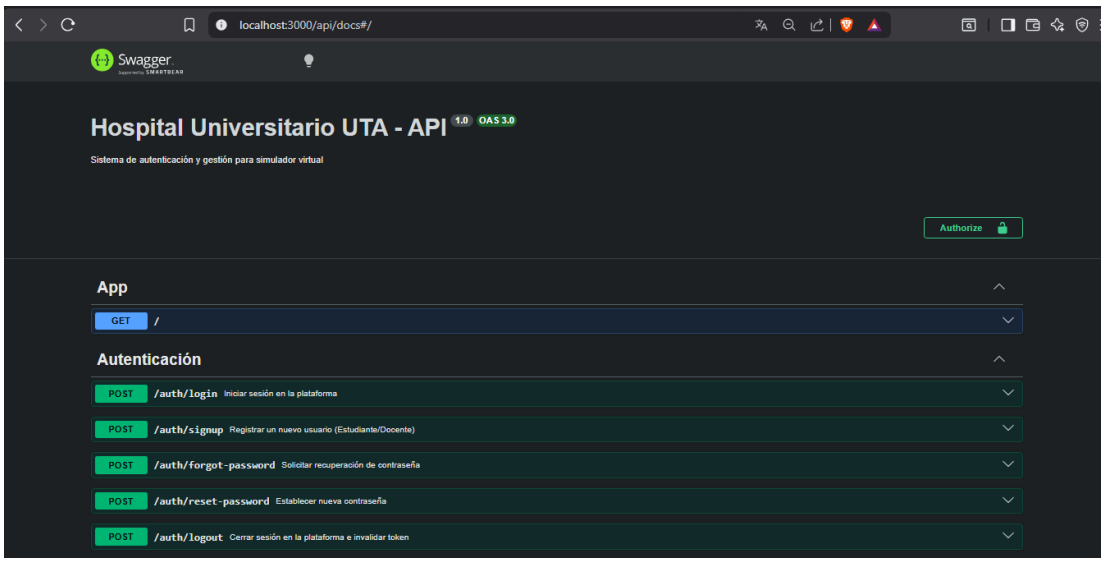


Figura 41. Documentación de la API con swagger.

c. Estructura frontend (Plataforma Web)

La interfaz administrativa orientada al control académico fue desarrollada mediante la librería React, estructurando componentes independientes basados en estados dinámicos para optimizar el rendimiento.

- ***Dependencias de la plataforma web***

El proyecto de la interfaz de usuario se estructuró utilizando la librería React, orientada a la construcción de componentes web declarativos y dinámicos. Las librerías y paquetes necesarios para el renderizado del dashboard administrativo, el manejo de estados globales y la comunicación con el servidor se gestionaron mediante npm a través del archivo de configuración package.json. En él Anexo M se detalla el listado y las versiones de las dependencias instaladas.

- ***Estructura de rutas de la plataforma***

El sistema de enrutamiento web se organizó de manera lógica para separar las responsabilidades académicas dentro de la plataforma. La navegación divide estrictamente las vistas de gestión del personal docente (listados de equipos médicos y control de salas de simulación) de las interfaces de consulta rápida orientadas al estudiante de Enfermería, permitiendo un acceso seguro y modular a las páginas del ecosistema, como se detalla en el Anexo M.

d. Estructura del simulador en realidad virtual

La lógica inmersiva dentro del visor Meta Quest se codificó en lenguaje C# utilizando el entorno de desarrollo de Unity XR Interaction Toolkit.

- ***Script de inicio de sesión***

El componente lógico ManejadorLogin.cs es el encargado de gestionar de forma síncrona y segura el flujo de autenticación de usuarios dentro del entorno virtual. Este script captura las credenciales ingresadas por el estudiante a través de los campos de interacción del Canvas (inputEmail e inputPassword), valida que la información no se encuentre vacía en la interfaz y estructura un objeto serializable de datos (LoginPayload). Posteriormente, genera una petición HTTP Post hacia el servicio web

alojado en Railway para verificar el acceso y permitir la transición dinámica hacia la escena Pasillo_Principal. El código fuente completo, detallado y comentado con sus respectivas funciones de red y manejo de excepciones se encuentra documentado formalmente en el Anexo O.

- ***Script interacción con equipos biomédicos***

El componente lógico EquipoMedicoInformativo.cs es el encargado de gestionar de forma dinámica la interacción, consulta y despliegue de datos de los activos biomédicos dentro de la sala de simulación. Este script se activa mediante los eventos de apuntamiento (Hover) del sistema XR, implementando un escudo de tiempo inteligente (Debounce) mediante corrutinas para evitar la sobreescritura accidental o parpadeos rápidos en la interfaz. Al consolidarse el enfoque del usuario sobre un equipo, el script captura el identificador del objeto (gameObject.name), realiza una petición HTTP Get asíncrona hacia el servicio web en Railway utilizando autenticación por Token JWT y mapea el resultado JSON para actualizar en tiempo real el título y la descripción técnica dentro del Canvas flotante (canvasInfoFlotante). El código fuente completo, detallado y comentado con sus respectivas funciones de control de estado y comunicación de red se encuentra documentado formalmente en el Anexo P.

- ***Script menú de pausa***

El componente lógico ControladorMenuPausa.cs es el responsable de interceptar de forma asíncrona los eventos de entrada de hardware provenientes de los controladores físicos de las gafas Meta Quest 3 para alternar el estado del menú de pausa. Mediante el uso de la librería UnityEngine.XR, el script evalúa continuamente en cada fotograma (Update) el estado del mando izquierdo (XRNode.LeftHand) y extrae el valor booleano del botón físico de menú (CommonUsages.menuButton). Con la finalidad de asegurar una experiencia de usuario óptima, implementa una lógica de control de flancos mediante la variable de estado botonPresion PresionadoEnFrameAnterior, garantizando que la función AlternarMenu() se ejecute exclusivamente en el instante exacto de la pulsación descendente (Button Down) y no de forma continua mientras se mantenga presionado el botón. El código fuente completo, detallado y comentado con

su respectiva lógica de inversión de estado se encuentra documentado formalmente en el Anexo Q.

- ***Script detector de puerta sala UCI***

El componente lógico DetectorPuerta.cs es el responsable de controlar de manera automatizada la transición física y la carga de entornos dentro del simulador inmersivo. Mediante el uso de la librería de Unity UnityEngine.SceneManagement, el script evalúa las colisiones tridimensionales a través del método nativo OnTriggerEnter(Collider other). Cuando el volumen del desencadenador volumétrico detecta la entrada de un objeto con la etiqueta de usuario calificada (other.CompareTag("Player")), el sistema intercepta el evento, genera un registro de trazabilidad en consola y ejecuta la carga dinámica y asíncrona de la nueva escena mediante la instrucción SceneManager.LoadScene, utilizando la variable configurable nombreEscenaDestino configurada por defecto hacia "Sala_UCI". El código fuente completo, detallado y comentado con sus respectivas directrices de configuración espacial se encuentra documentado formalmente en el Anexo R.

- ***Script de cerrar sesión***

El componente lógico ManejadorLogOut.cs es el encargado de gestionar de forma segura la finalización de la sesión del usuario y la destrucción de las credenciales activas dentro del simulador virtual. Al interactuar el estudiante con el botón de salida de la interfaz, el script intercepta el evento e inicia el proceso de limpieza local, eliminando el Token JWT de autenticación previamente almacenado en la memoria persistente del dispositivo. Tras asegurar la desvinculación completa con el backend en Railway, el script utiliza el sistema de gestión de escenas de Unity para descargar el entorno actual y cargar de forma síncrona la escena inicial correspondiente al control de acceso (Login), garantizando así la protección de los datos y el restablecimiento correcto del flujo operativo del sistema. El código fuente completo, detallado y comentado con sus respectivas funciones de limpieza de memoria se encuentra documentado formalmente en el Anexo S.

3.3.2 Implementación de funcionalidades

En este apartado se presentan las evidencias visuales y capturas de pantalla correspondientes a la interfaz gráfica del ecosistema digital en su versión final y funcional. Con el objetivo de constatar la correcta ejecución de la ingeniería de software planteada, la sección expone de forma ordenada el resultado estético y operacional de las pantallas integradas en la plataforma web desarrollada, así como el entorno tridimensional interactivo e inmersivo de la sala UCI

Esta exhibición de resultados permite verificar de manera directa la armonía entre el diseño de experiencia de usuario (UX/UI) y la robustez lógica del backend implementado, demostrando la operatividad real de las funcionalidades expuestas anteriormente.

a. Plataforma web

En este apartado se describen los componentes visuales que conforman el entorno administrativo del ecosistema digital, implementados mediante la librería React. Estas interfaces actúan como el canal de control académico y operativo del sistema, permitiendo al personal docente y administrativo interactuar de forma síncrona con los registros de la base de datos a través de formularios validados y dashboards dinámicos que se detallan a continuación:

- ***Inicio de sesión en la plataforma web***

El acceso al sistema se realiza a través de una interfaz centralizada de autenticación, donde el usuario (estudiante, docente o administrador) debe ingresar obligatoriamente su correo electrónico institucional (@uta.edu.ec) y su contraseña cifrada. Como se observa en la Figura 42, el diseño prioriza la usabilidad y la identidad corporativa de la institución, protegiendo el flujo mediante controles que restringen accesos no autorizados e inyectan los tokens de sesión correspondientes tras presionar el botón de ingreso.



Figura 42. Interfaz de inicio de sesión en la plataforma web

- ***Recuperar contraseña***

Con la finalidad de proveer un mecanismo automatizado de autoservicio para la gestión de credenciales y mitigar incidentes por bloqueo de accesos, el sistema integra una interfaz dedicada a la restauración de contraseñas. Como se observa en la Figura 43, el diseño presenta un formulario simplificado y alineado a la identidad institucional, en el cual el usuario debe introducir obligatoriamente su correo electrónico registrado. Tras presionar el botón de acción, el sistema procesa la petición y despacha de forma asíncrona un enlace seguro y único de validación hacia la bandeja de entrada del solicitante para continuar con el restablecimiento de su cuenta.

Este flujo automatizado elimina la dependencia de soporte técnico manual, optimizando los tiempos de respuesta ante situaciones de bloqueo de cuenta. La implementación de tokens temporales de uso único garantiza que el proceso de recuperación sea totalmente privado y resistente a intentos de interceptación de identidad.

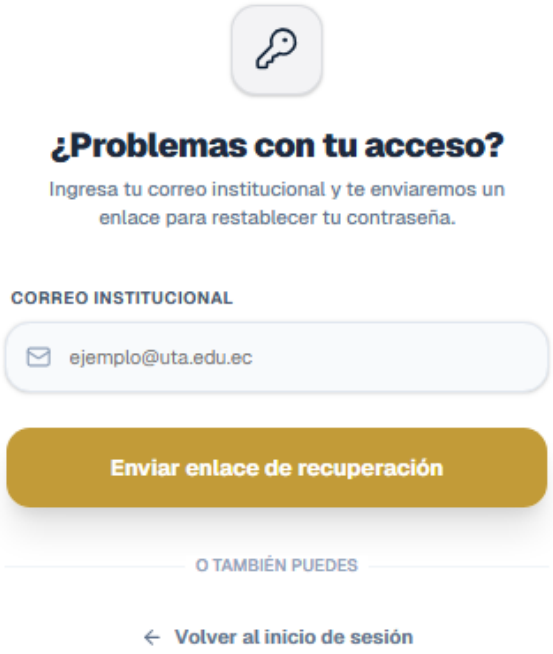


Figura 43. Interfaz de la plataforma web para la solicitud de restablecimiento de contraseña.

- ***Restablecimiento de nueva contraseña web***

Una vez que el token de seguridad es validado exitosamente a través del enlace de verificación recibido en el correo institucional, la plataforma web redirige automáticamente al usuario hacia la interfaz de cambio de credenciales. Como se expone en la Figura 44, este formulario especializado exige el ingreso de la nueva clave de acceso y su respectiva confirmación, aplicando reglas técnicas en la interfaz para constatar la coincidencia exacta de ambos campos antes de habilitar la acción de actualización.

Este proceso asegura que el estudiante o docente de Enfermería recupere el control total de su cuenta de forma autónoma y protegida antes de ser redirigido nuevamente al módulo de inicio de sesión.

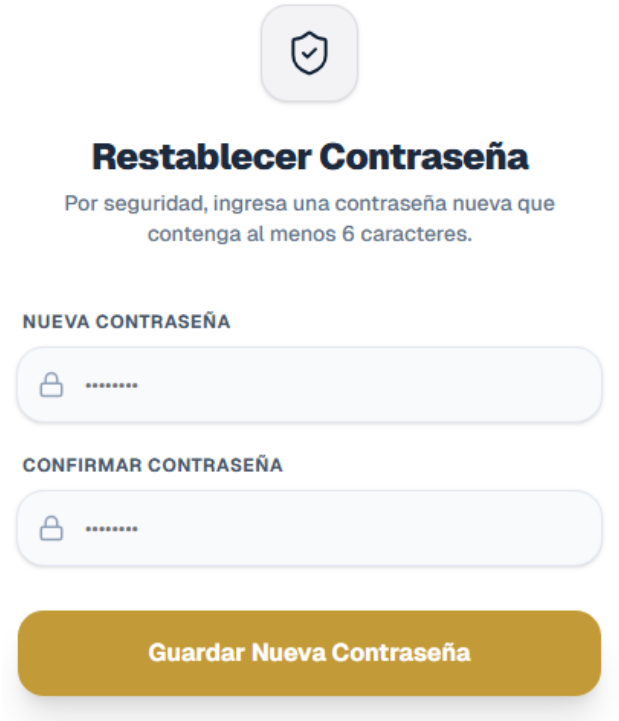


Figura 44. Interfaz de la plataforma web para el ingreso y validación de la nueva contraseña de usuario

- ***Registro de usuario***

Con el objetivo de automatizar la incorporación de nuevos usuarios al ecosistema digital, la plataforma web dispone de una interfaz de registro autónomo. Como se visualiza en la Figura 45, este formulario permite a los usuarios ingresar datos de identificación personal estrictamente validados, abarcando campos como nombres completos, apellidos, una dirección de correo electrónico con el dominio institucional requerido y la asignación de su respectiva credencial de acceso.

Este diseño centraliza el proceso de alta, permitiendo que la validación de dominios institucionales actúe como un filtro de seguridad automático, asegurando que únicamente miembros autorizados de la comunidad académica tengan acceso a la plataforma. La implementación de este autoservicio reduce drásticamente la carga operativa en la gestión de cuentas, permitiendo que el sistema escale de forma eficiente al recibir nuevos estudiantes. Finalmente, esta estructura garantiza que la base de datos mantenga registros íntegros y actualizados desde el primer momento de interacción del usuario con el sistema.



Figura 45. Interfaz de la plataforma web para el registro de usuarios

- ***Modulo docente***

Al autenticarse un usuario con el rol de docente, la plataforma web habilita un panel de administración especializado. Este entorno se compone de tres interfaces dinámicas e interconectadas que facilitan el seguimiento académico y el control de los recursos de simulación Esta arquitectura centralizada permite al docente supervisar el progreso de cada estudiante y gestionar la configuración de las salas UCI de manera ágil, sin necesidad de navegar entre múltiples plataformas.

Panel de control académico de estudiantes

Permite visualizar de forma síncrona la lista de alumnos registrados en el sistema, detallando sus nombres completos, apellidos, correos institucionales, y las acciones para la edición o control de perfiles, como se observa en la Figura 46

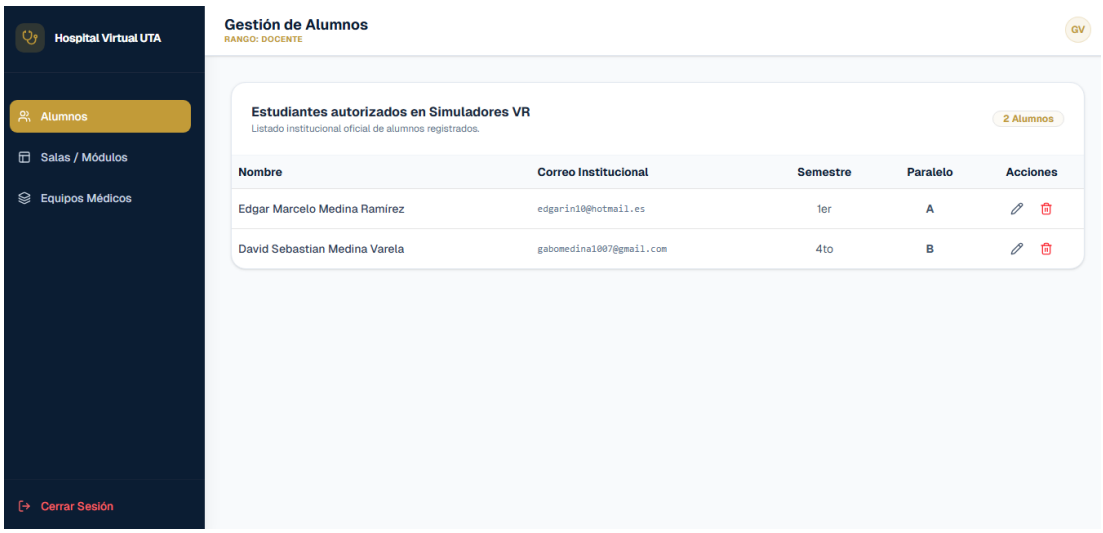


Figura 46. Interfaz de control y listado académico de estudiantes

Catálogo de administración de salas

Despliega un listado modular de los diferentes entornos de aprendizaje interactivos configurados en el sistema (Sala de Cuidados Intensivos), permitiendo la organización del espacio virtual, ilustrado en la Figura 40.

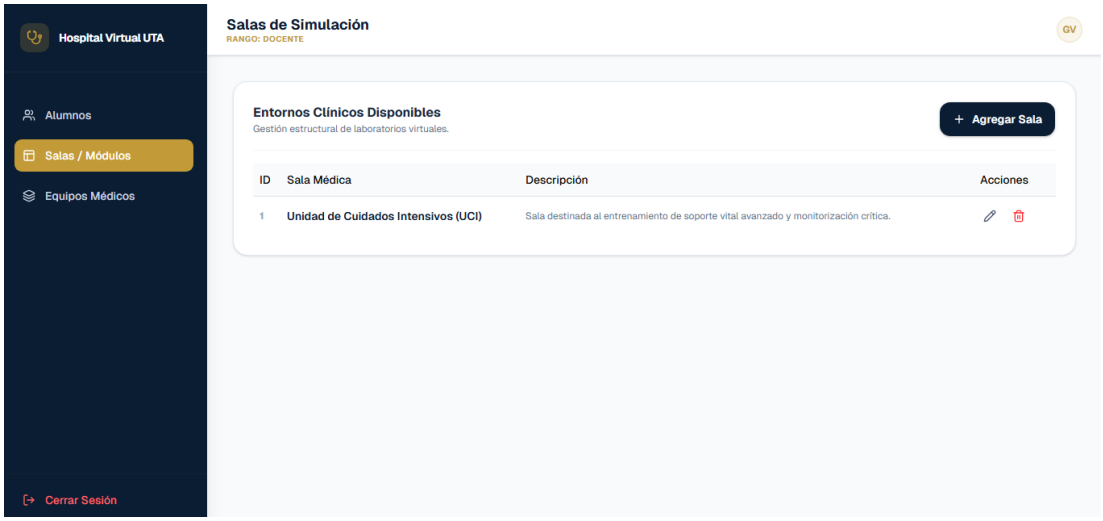


Figura 47. Interfaz del módulo de gestión de salas de simulación

Inventario técnico de equipos médicos

Presenta un panel estructurado que lista de forma ordenada los activos biomédicos disponibles dentro de las salas, detallando características esenciales como el nombre y la descripción del equipo técnico que será cargado en el simulador tridimensional, según consta en la Figura 48.

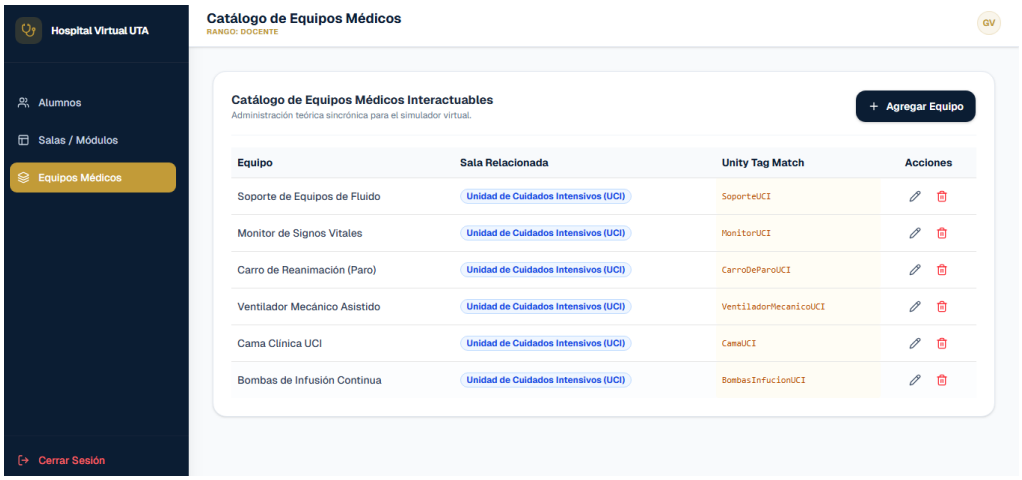


Figura 48. Interfaz del panel de administración e inventario de equipos biomédicos

- ***Modulo administrador***

Al autenticarse un usuario con el rol superior de administrador, la plataforma web despliega el panel de control centralizado con privilegios totales sobre la persistencia de los datos. Como se ilustra en la Figura 49, esta interfaz unifica las tablas del sistema y activa de forma exclusiva una columna de interacción operacional de acciones avanzadas. A través de este componente, el administrador posee la facultad técnica de ejecutar modificaciones en tiempo real, dar de alta nuevos registros mediante formularios emergentes o deshabilitar lógicamente el estado de los usuarios, salas de simulación y activos biomédicos, garantizando la integridad, depuración y mantenimiento del entorno de datos que alimenta al simulador inmersivo.

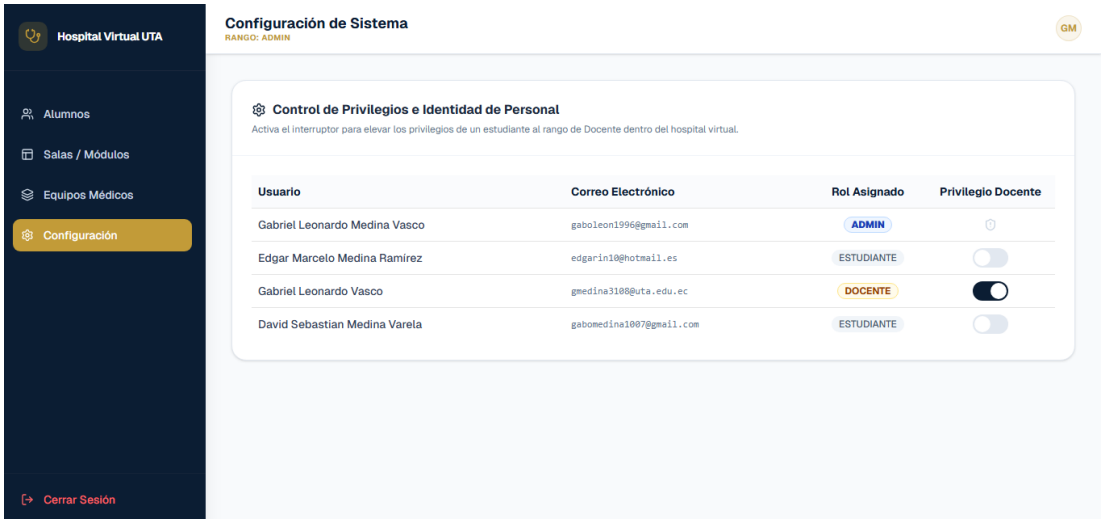


Figura 49. Interfaz del módulo de administración con privilegios de edición y control lógico de registros

b. Sala virtual UCI

En este apartado se describen los componentes visuales y espaciales que conforman el entorno interactivo del simulador inmersivo, implementados mediante el motor de desarrollo Unity 3D y lenguaje C#. Estas interfaces actúan como el canal de reconocimiento técnico y espacial del ecosistema digital, permitiendo a los estudiantes y docentes de la carrera de Enfermería interactuar de forma segura y autónoma con la representación tridimensional de la sala UCI y sus equipos a través de visores autónomos Meta Quest 3 que se detallan a continuación:

- ***Inicio de sesión en el entorno virtual***

Con el propósito de resguardar el acceso seguro al escenario clínico de la sala UCI y validar la identidad del usuario directamente en el espacio de realidad virtual, el simulador incorpora un módulo de autenticación inmersivo. Como se ilustra en la Figura 50, la interfaz presenta un panel integrado en el espacio tridimensional con un diseño limpio y alineado a la identidad de la Universidad Técnica de Ambato. A través de este componente, el usuario digita su correo institucional y su contraseña utilizando el teclado interactivo del visor. Los datos son procesados de forma síncrona mediante peticiones a la API del backend, autorizando el ingreso y cargando dinámicamente el perfil correspondiente.



Figura 50. Interfaz inmersiva del simulador en realidad virtual para la autenticación de usuarios.

- ***Entorno de transición y pasillo de acceso***

Una vez superada la fase de autenticación, el simulador despliega un escenario intermedio que recrea el pasillo exterior de un entorno hospitalario real, sirviendo como zona de preparación para el usuario. Como se observa en la Figura 51, este espacio tridimensional sitúa al estudiante frente a las compuertas principales de la unidad de cuidados intensivos, las cuales debe cruzar deliberadamente para poder ingresar al área clínica.

La finalidad operativa de esta interfaz espacial es permitir que el alumno se familiarice con el sistema de locomoción y el espacio virtual antes de ingresar al área crítica, reduciendo el impacto visual directo y asegurando una transición fluida hacia el módulo de reconocimiento técnico de los equipos de la sala UCI. Este espacio intermedio actúa como un protocolo de adaptación ergonómica que disminuye los posibles efectos de fatiga visual o desorientación espacial, comunes en las primeras interacciones con entornos de Realidad Virtual.

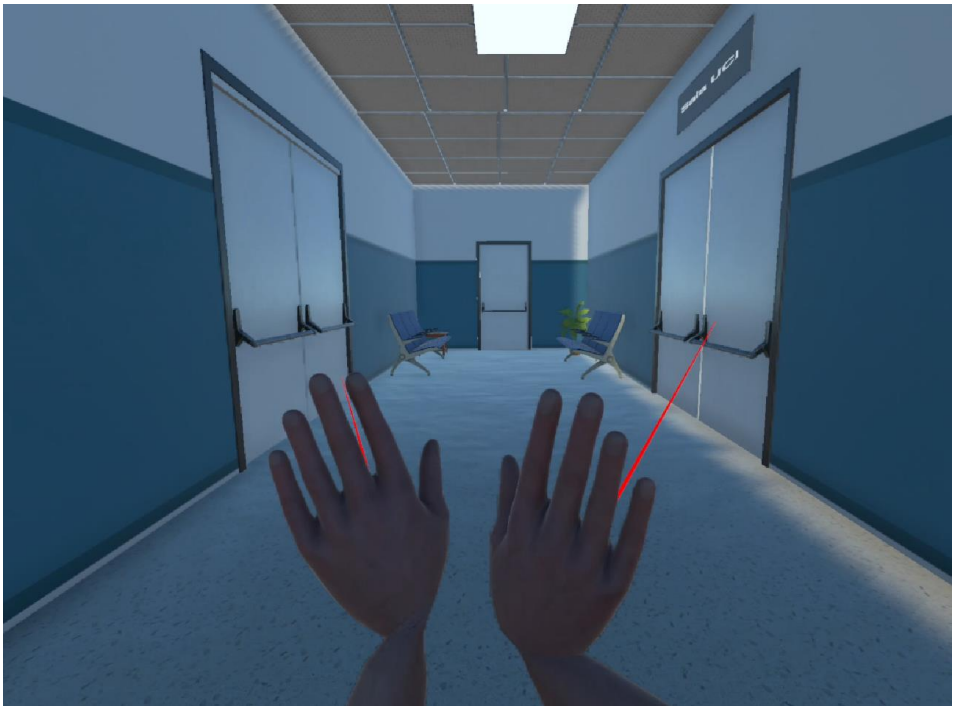


Figura 51. Interfaz del entorno inmersivo correspondiente al pasillo de acceso a la unidad de cuidados intensivos.

- ***Vista general del entorno clínico de la sala UCI***

Tras cruzar las compuertas de acceso, el simulador posiciona al usuario dentro de la representación tridimensional completa de la Unidad de Cuidados Intensivos. Como se ilustra en la Figura 52, esta interfaz espacial despliega el escenario de simulación en su totalidad, mostrando la distribución de las unidades de hospitalización, el mobiliario clínico. La finalidad operativa de esta vista general es proporcionar al estudiante de Enfermería una inmersión espacial inmediata, permitiéndole escanear visualmente el entorno de cuidados críticos de manera panorámica y autónoma para comprender la disposición física y real de los equipos antes de proceder con las interacciones específicas de reconocimiento técnico.

Este despliegue visual facilita la construcción de un mapa mental preciso del entorno, fundamental para la orientación espacial dentro de una unidad hospitalaria de alta complejidad. Al permitir una exploración libre, el sistema fomenta la autonomía del estudiante, quien debe integrar de manera activa los elementos del entorno antes de profundizar en la manipulación de dispositivos específicos.



Figura 52. Interfaz del entorno inmersivo correspondiente a la vista general interna de la unidad de cuidados intensivos.

- ***Interacción y reconocimiento técnico de la cama hospitalaria de UCI***

Para ejecutar el reconocimiento de los activos biomédicos, el simulador implementa un sistema interactivo basado en la técnica de proyección de rayos virtuales (Raycasting). Como se observa en la Figura 53, cuando el estudiante apunta el control - mando de las gafas Meta Quest 3 hacia la cama hospitalaria de cuidados intensivos, el motor Unity proyecta una línea recta tridimensional (Raycaster) desde la posición del mando de la mano del usuario. Al colisionar este rayo virtual con el objeto, el script en C# despliega de forma dinámica un panel flotante de interfaz de usuario (UI Canvas) que contiene la descripción técnica y la función esencial del equipo dentro del entorno crítico, cumpliendo así con el requerimiento de identificación autónoma de la sala.

Esta técnica de interacción permite una selección precisa y natural en el entorno virtual, emulando gestos cotidianos de señalamiento que refuerzan la inmersión del estudiante. La respuesta inmediata del canvas flotante garantiza que el flujo de información técnica sea contextual y no invasivo, evitando la saturación visual del escenario clínico.



Figura 53. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre la cama hospitalaria de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo.

- ***Interacción y reconocimiento técnico del carro de reanimación de UCI***

Para ejecutar el reconocimiento de este activo biomédico, el simulador emplea el mismo principio de interacción interactiva inmersiva. Como se ilustra en la Figura 54, cuando el estudiante apunta el controlador de las gafas Meta Quest 3 hacia el carro de reanimación, el motor Unity proyecta una línea recta tridimensional (Raycaster) desde la posición del mando de la mano del usuario. Al colisionar este rayo virtual con el objeto, el script en C# despliega de forma dinámica un panel flotante de interfaz de usuario (UI Canvas) que contiene la descripción técnica y la función esencial del equipo de emergencia, cumpliendo con el requerimiento de identificación autónoma de la sala.

La consistencia en la implementación de esta mecánica de interacción asegura que el estudiante adquiera una curva de aprendizaje rápida, aplicando el mismo gesto intuitivo para explorar todos los dispositivos críticos de la unidad. Al estandarizar la respuesta visual y técnica mediante esta tecnología, se minimiza la carga cognitiva del usuario, permitiéndole concentrar su atención plenamente en el contenido pedagógico del equipo médico. De esta manera, el simulador garantiza un entorno de aprendizaje uniforme donde la exploración tecnológica se integra de forma transparente con la instrucción clínica, reforzando la retención de conocimientos mediante la repetición deliberada de gestos interactivos dentro del entorno virtual.



Figura 54. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre el carro de reanimación de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo.

- ***Interacción y reconocimiento técnico del monitor signos vitales de UCI***

Para ejecutar el reconocimiento de este activo biomédico, el simulador emplea el mismo principio de interacción interactiva inmersiva. Como se ilustra en la Figura 55, cuando el estudiante apunta el controlador de las gafas Meta Quest 3 hacia el monitor de signos vitales, el motor Unity proyecta una línea recta tridimensional desde la posición del mando de la mano del usuario. Al colisionar este rayo virtual con el objeto, el script en C# despliega de forma dinámica un panel flotante de interfaz de usuario (UI Canvas) que contiene la descripción técnica y la función esencial del equipo de monitoreo fisiológico, cumpliendo con el requerimiento de identificación autónoma de la sala.

Este nivel de interacción es particularmente crítico para el monitor de signos vitales, ya que permite al estudiante relacionar directamente los valores fisiológicos visualizados con la función técnica del dispositivo en situaciones de emergencia. Al mantener la arquitectura de interacción basada en raycasting, se garantiza la cohesión operativa en todo el ecosistema de equipos médicos, permitiendo que el usuario se enfoque en la interpretación de los datos en lugar de en la gestión técnica del control.



Figura 55. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre el monitor de signos vitales de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo

- ***Interacción y reconocimiento técnico de las bombas de infusión de UCI***

Para ejecutar el reconocimiento de este activo biomédico, el simulador emplea el mismo principio de interacción interactiva inmersiva. Como se ilustra en la Figura 56, cuando el estudiante apunta el controlador de las gafas Meta Quest 3 hacia las bombas de infusión, el motor Unity proyecta una línea recta tridimensional desde la posición del mando de la mano del usuario. Al colisionar este rayo virtual con el objeto, el script en C# despliega de forma dinámica un panel flotante de interfaz de usuario (UI Canvas) que contiene la descripción técnica y la función esencial del equipo de dosificación y terapia intravenosa, cumpliendo con el requerimiento de identificación autónoma de la sala.

La implementación de esta técnica en dispositivos de infusión es fundamental debido a la complejidad operativa que representan en un entorno de cuidados críticos. Al permitir que el estudiante examine los detalles técnicos de la dosificación mediante la selección interactiva, se refuerza la comprensión sobre la precisión requerida en el suministro de fármacos. Este mecanismo de exploración no solo estandariza la interacción con los diversos activos de la unidad, sino que también garantiza que cada estudiante desarrolle una destreza técnica sólida mediante la práctica reiterada.



Figura 56. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre las bombas de infusión de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo

- ***Interacción y reconocimiento técnico del ventilador mecánico de UCI***

Para ejecutar el reconocimiento de este activo biomédico, el simulador emplea el mismo principio de interacción interactiva inmersiva. Como se ilustra en la Figura 57, cuando el estudiante apunta el controlador de las gafas Meta Quest 3 hacia el ventilador mecánico, el motor Unity proyecta una línea recta tridimensional desde la posición del mando de la mano del usuario. Al colisionar este rayo virtual con el objeto, el script en C# despliega de forma dinámica un panel flotante de interfaz de usuario (UI Canvas) que contiene la descripción técnica y la función esencial del equipo de soporte ventilatorio artificial, cumpliendo con el requerimiento de identificación autónoma de la sala.

La integración de esta mecánica en el ventilador mecánico es de vital importancia, ya que este equipo constituye uno de los pilares del soporte vital en la Unidad de Cuidados Intensivos. Al facilitar la exploración detallada de sus componentes mediante Raycasting, se permite al estudiante desglosar la complejidad del dispositivo de manera controlada y pedagógica. Este proceso refuerza la comprensión de los modos ventilatorios y la configuración técnica del equipo, transformando el aprendizaje teórico en una experiencia de reconocimiento práctico altamente eficiente.



Figura 57. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre el ventilador mecánico de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo

- ***Interacción y reconocimiento técnico del soporte de equipos de fluido de UCI***

Para ejecutar el reconocimiento de este activo biomédico, el simulador emplea el mismo principio de interacción interactiva inmersiva. Como se ilustra en la Figura 58, cuando el estudiante apunta el controlador de las gafas Meta Quest 3 hacia el soporte de equipos de fluido, el motor Unity proyecta una línea recta tridimensional desde la posición del mando de la mano del usuario. Al colisionar este rayo virtual con el objeto, el script en C# despliega de forma dinámica un panel flotante de interfaz de usuario (UI Canvas) que contiene la descripción técnica y la función esencial del equipo de sujeción e infusión clínica, cumpliendo con el requerimiento de identificación autónoma de la sala.

La inclusión de este soporte en la simulación permite al estudiante visualizar la organización ergonómica de los sistemas de infusión dentro del cubículo de la Unidad de Cuidados Intensivos. Al explorar este activo mediante raycasting, el usuario comprende la relevancia del orden y la accesibilidad de las líneas intravenosas, elementos cruciales para una atención clínica sin interrupciones.



Figura 58. Interfaz del simulador que ilustra la colisión del raycaster sobre el soporte de equipos de fluido de UCI y el despliegue automático del panel descriptivo

- ***Interacción y reconocimiento técnico de la puerta UCI de salida a pasillo principal***

Para ejecutar la navegación y el retorno dentro del entorno virtual, el simulador emplea un principio de interacción interactiva inmersiva aplicado al diseño arquitectónico. Como se ilustra en la Figura 59, cuando el estudiante apunta el controlador de las gafas Meta Quest 3 hacia la puerta de acceso de la sala de UCI, el motor Unity proyecta una línea recta tridimensional desde la posición del mando de la mano del usuario. Al colisionar este rayo virtual con el objeto y registrar la acción del usuario, el sistema procesa la transición de escena de forma dinámica, permitiendo el egreso autónomo de la sala y el retorno inmediato hacia el pasillo principal del hospital virtual, cumpliendo con el requerimiento de flujo y libre circulación del simulador.

Esta funcionalidad de navegación basada en raycasting es esencial para mantener la fluidez espacial dentro del hospital virtual, emulando la libertad de movimiento que un profesional de la salud tendría en un entorno físico. Al simplificar la transición de escenas mediante un gesto intuitivo, se elimina la fricción técnica y se permite que el estudiante gestione su propio recorrido de aprendizaje entre diferentes áreas críticas.



Figura 59. Interfaz del simulador que ilustra puerta de salida de la sala UCI al pasillo principal

- ***Pausa e interrupción de la simulación***

Con el objetivo de garantizar el control de la experiencia inmersiva y permitir la gestión del estado de la aplicación en tiempo de ejecución, el sistema incorpora una interfaz de pausa flotante. Como se ilustra en la Figura 60, al activarse este módulo desde los controladores del visor, el motor Unity detiene temporalmente los procesos en segundo plano del entorno virtual y despliega un panel flotante bidimensional frente a la perspectiva del usuario. Esta interfaz expone dos opciones operativas validadas mediante eventos de clic inmersivo: el botón de reanudación, que restaura de forma inmediata el flujo de la simulación, y el botón de cierre de sesión, que destruye el estado actual y redirige síncronamente al usuario hacia la pantalla de autenticación inicial.

Este mecanismo de control proporciona al estudiante un nivel de autonomía esencial, permitiéndole gestionar pausas estratégicas durante sesiones de entrenamiento prolongadas para evitar la fatiga cognitiva. Al centralizar las funciones de gestión de sesión en una interfaz dedicada, se asegura que el usuario pueda finalizar su práctica de manera ordenada y segura, liberando los recursos del sistema una vez completada la actividad.



Figura 60. Interfaz inmersiva del menú de pausa para el control del estado del simulador

c. Entregables

Como resultado del enfoque ágil, iterativo e incremental, cada historia de usuario finalizada y validada dio origen a un conjunto de componentes tecnológicos funcionales, los cuales constituyen el producto de software definitivo de este proyecto. Estos entregables tangibles se consolidan y clasifican en las siguientes categorías:

- ***Paquete Inmersivo VR sala UCI***

Archivo ejecutable final empaquetado y optimizado de forma nativa para el sistema operativo Android del visor MetaQuest 3S, el cual contiene el entorno tridimensional de la Sala UCI, las mallas optimizadas de los activos biomédicos y los scripts de interacción por rayos.

- ***Plataforma Web (Frontend)***

Directorio de producción estático (build) optimizado, empaquetado y desplegado de forma continua en la plataforma cloud Vercel, el cual expone de manera pública la interfaz adaptativa de la plataforma web.

- ***Servicio de aplicación y lógica de negocio (Backend)***

Entorno de ejecución de servidor basado en Node.js, configurado y desplegado en la plataforma cloud Railway, el cual centraliza la API REST, los controladores globales de autenticación, los módulos de seguridad perimetral y el intercambio síncrono de datos.

d. Documentación del sistema

Con el propósito de resguardar la operabilidad, garantizar el correcto despliegue del software y facilitar el mantenimiento del ecosistema digital desarrollado sin alterar el enfoque estrictamente de ingeniería del cuerpo central de esta investigación, se han estructurado guías completas de soporte técnico y de usuario.

- ***Manual de usuario***

Guía didáctica visual orientada a los estudiantes y docentes de la carrera de Enfermería, detallando los flujos de autenticación en la plataforma web, el proceso de gestión de perfiles académicos y las mecánicas de interacción tridimensional mediante el sistema de rayos dentro del simulador inmersivo de la UCI. (Para su revisión detallada, diríjase al Anexo T).

- ***Manual del sistema***

Guía técnica detallada orientada al administrador de infraestructura, describiendo los procedimientos para la configuración del entorno local de desarrollo, la instalación y estructuración del motor de base de datos PostgreSQL, el despliegue del backend en NestJS, la ejecución de la interfaz administrativa en React y el protocolo de carga del archivo ejecutable (.apk) mediante el gestor oficial Meta Quest Developer Hub hacia los visores de realidad virtual. (Para su revisión detallada, diríjase al Anexo U)

3.3.3 Evaluación de usabilidad mediante el cuestionario SUS

Para evaluar la calidad de la implementación, la eficiencia operativa y el nivel de aceptación del ecosistema digital, se aplicó la Escala de Usabilidad del Sistema. Este instrumento psicométrico, ampliamente reconocido en la ingeniería de software y

entornos inmersivos por su validez y velocidad de procesamiento, permite medir de forma cuantitativa la percepción de los usuarios sobre la facilidad de uso del sistema. El cuestionario consta de 10 preguntas estandarizadas valoradas mediante una escala de Likert de cinco niveles, que oscilan desde "Totalmente en desacuerdo" hasta "Totalmente de acuerdo".

El análisis de estos ítems proporciona una visión matemática integral del rendimiento de la interfaz y la experiencia interactiva desde la perspectiva del alumno, facilitando comparaciones directas sobre la efectividad de la herramienta.

a. Aplicación y muestra

La evaluación del sistema fue ejecutada mediante una prueba de usabilidad dirigida de forma estricta a la muestra probabilística calculada en el diseño metodológico, conformada por 51 estudiantes legalmente matriculados en el octavo semestre de la carrera de enfermería de la Universidad Técnica de Ambato. Este grupo fue seleccionado bajo criterios de homogeneidad académica para garantizar que todos los participantes poseyeran una base de conocimientos clínicos previa, permitiendo así una medición más precisa del impacto pedagógico de la tecnología aplicada.

Cada uno de los participantes interactuó de manera individual con la aplicación de realidad virtual utilizando los visores meta quest para realizar el reconocimiento técnico de los activos biomédicos dentro del cubículo de la sala UCI y, de manera complementaria, accedieron a la interfaz web de gestión académica para interactuar con los módulos de reportes y autoevaluación. Esta modalidad de evaluación integral permitió observar el comportamiento del usuario en entornos de transición, desde la inmersión virtual hasta la gestión administrativa del aprendizaje.

Al finalizar la sesión práctica de simulación inmersiva, los 51 estudiantes completaron el cuestionario de usabilidad correspondiente de forma anónima, asegurando que la recolección de datos posea la validez estadística y la representatividad requerida para el diagnóstico del proyecto.

b. Resultados

- **Pregunta 1: Creo que me gustaría usar este sistema de la sala UCI con frecuencia.**

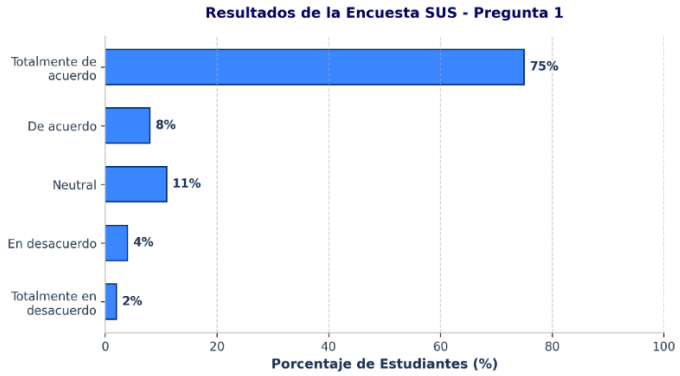


Figura 61. Resultados encuesta SUS pregunta 1

Mediante la Figura 61, los resultados se obtuvieron de la siguiente manera por parte de los estudiantes de enfermería. El 75% indicó estar totalmente de acuerdo, lo que refleja una aceptación muy alta y disposición para usar el sistema con frecuencia como apoyo en los laboratorios académicos. Un 8% manifestó estar de acuerdo, sumando un 83% de opiniones positivas. Por otro lado, el 11% se mostró neutral, mientras que solo un 4% estuvo en desacuerdo y apenas un 2% totalmente en desacuerdo. Estos resultados sugieren que la gran mayoría de los usuarios se siente cómoda con el ecosistema y muestra una fuerte intención de uso habitual para el reconocimiento biomédico de la sala UCI.

- **Pregunta 2: Encontré que el sistema es innecesariamente complejo.**

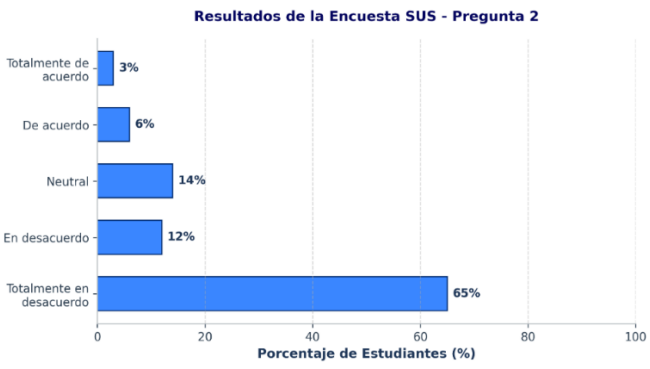


Figura 62. Resultados encuesta SUS pregunta 2

Mediante la Figura 62, los resultados se obtuvieron de la siguiente manera por parte de los estudiantes de enfermería. El 65% de los participantes indicó estar totalmente en desacuerdo, lo que refleja que la mayoría considera que el sistema no presenta una complejidad innecesaria. Un 12% estuvo en desacuerdo, sumando un 77% de opiniones negativas frente a la afirmación, lo cual es positivo para la percepción de simplicidad. Por otro lado, el 14% se mostró neutral, mientras que solo un 6% estuvo de acuerdo y un 3% totalmente de acuerdo, evidenciando que son pocos quienes perciben el diseño espacial o los formularios web como complejos.

- **Pregunta 3: Consideré que el sistema me resulta sencillo de manejar.**

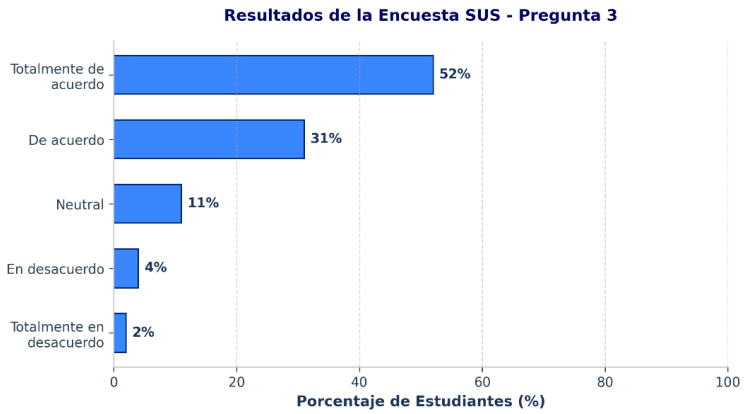


Figura 63. Resultados encuesta SUS pregunta 3

Mediante la Figura 63, los resultados se obtuvieron de la siguiente manera por parte de los estudiantes de enfermería. El 31% de los encuestados estuvo de acuerdo con la afirmación, mientras que el 52% manifestó estar totalmente de acuerdo. Por otro lado, el 11% permaneció neutral, el 4% expresó desacuerdo y solo un 2% indicó estar totalmente en desacuerdo.

Esto refleja que la gran mayoría considera que el sistema resulta sencillo de manejar, sugiriendo una experiencia de usuario favorable en términos de interacción con los mandos y punteros en el entorno virtual.

- **Pregunta 4: Creo que necesitaría el apoyo de un técnico o tutor para poder utilizar este sistema.**

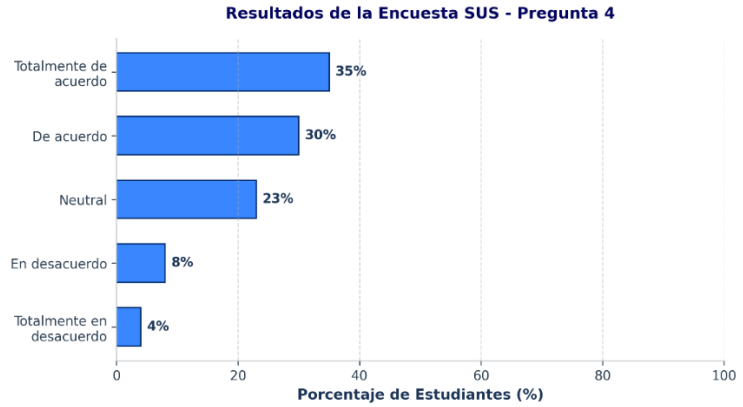


Figura 64. Resultados encuesta SUS pregunta 4

En la Figura 64, los resultados se obtuvieron de la siguiente manera por parte de los estudiantes de enfermería. El 30% de los encuestados estuvo de acuerdo con la afirmación, mientras que el 35% manifestó estar totalmente de acuerdo. Por otro lado, el 23% permaneció neutral, el 8% expresó desacuerdo y un 4% indicó estar totalmente en desacuerdo. Estos resultados sugieren que una proporción significativa considera que necesitaría apoyo para utilizar el sistema de realidad virtual, lo cual es habitual al introducir hardware inmersivo y visores Meta Quest, denotando la importancia de una inducción técnica inicial.

- **Pregunta 5: Encuentro que las diversas funciones del sistema están muy bien integradas.**

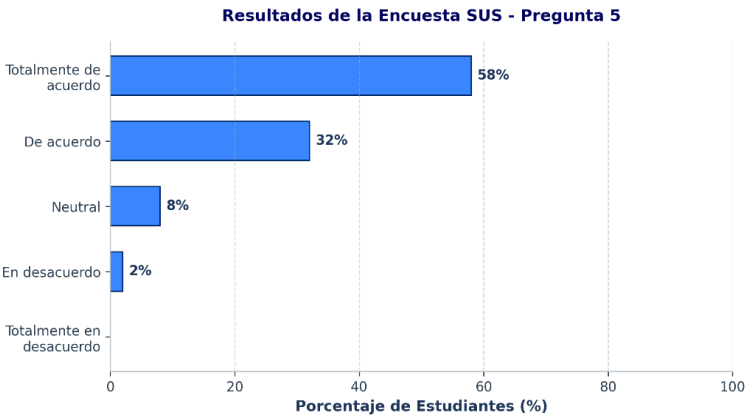


Figura 65. Resultados encuesta SUS pregunta 5

En la Figura 65, los resultados se obtuvieron de la siguiente manera por parte de los estudiantes de enfermería. El 58% de los usuarios declaró estar completamente conforme con la integración de las funciones, y el 32% estuvo de acuerdo, sumando un total del 90%. El 8% mantuvo una posición neutral y solo un 2% reportó reacciones negativas. El sistema fue percibido como una herramienta con componentes bien coordinados y una lógica interna clara, demostrando que la comunicación de datos entre Unity y la API en NestJS es imperceptible y eficiente.

- **Pregunta 6: Me pareció que el sistema de la sala UCI presentaba demasiadas inconsistencias.**

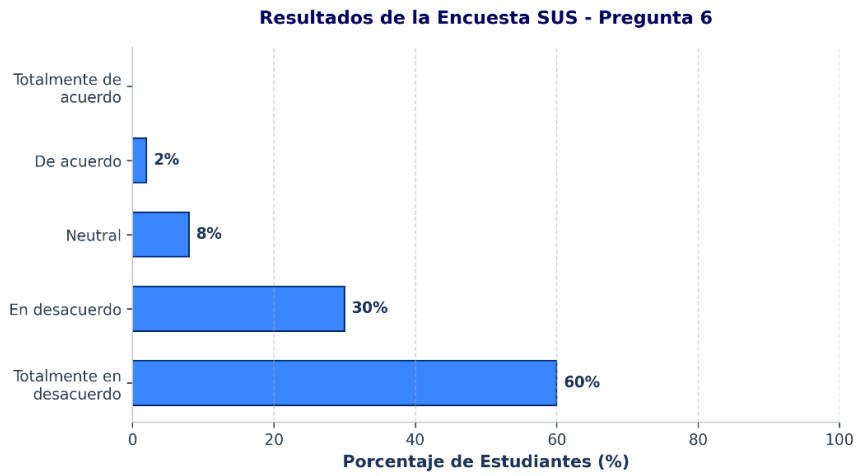


Figura 66. Resultados encuesta SUS pregunta 6

En la Figura 66, los resultados se obtuvieron de la siguiente manera por parte de los estudiantes de enfermería. El 60% indicó estar totalmente en desacuerdo con la afirmación, mientras que el 30% manifestó desacuerdo, sumando un 90% de valoraciones que descartan errores.

Por otro lado, el 8% permaneció neutral y solo un 2% expresó estar de acuerdo, sin que ningún participante marcara el total acuerdo. Estos resultados reflejan que la mayoría considera que el sistema no presentó inconsistencias o bugs durante su uso, indicando una buena estabilidad en la codificación en C#.

- **Pregunta 7: Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar este sistema muy rápidamente.**

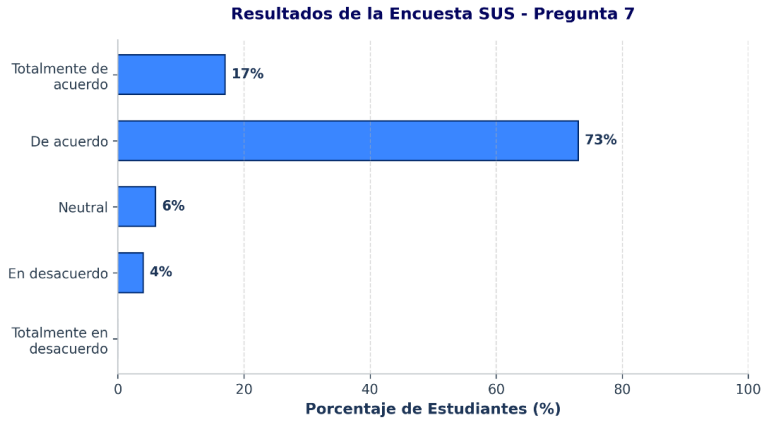


Figura 67. Resultados encuesta SUS pregunta 7

En la Figura 67, los resultados se obtuvieron de la siguiente manera por parte de los estudiantes de enfermería. El 73% indicó estar de acuerdo con la afirmación, mientras que el 17% manifestó estar totalmente de acuerdo, sumando un 90% de opiniones favorables. Por otro lado, el 6% permaneció neutral y solo un 4% expresó desacuerdo. Estos resultados reflejan que la mayoría considera que la mayor parte de los usuarios podría aprender a utilizar el sistema rápidamente, avalando una alta eficiencia del diseño interactivo.

- **Pregunta 8: Me pareció que el sistema de la sala UCI es muy difícil de manejar.**

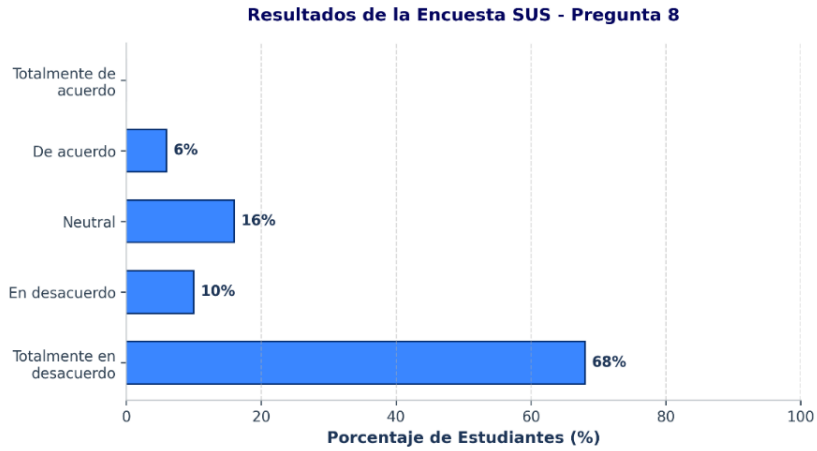


Figura 68. Resultados encuesta SUS pregunta 8

En la Figura 68, los resultados se obtuvieron de la siguiente manera por parte de los estudiantes de enfermería. El 68% de los encuestados indicó estar totalmente en desacuerdo con la afirmación, mientras que el 10% manifestó desacuerdo. Por otro lado, el 16% permaneció neutral y solo un 6% expresó estar de acuerdo, sin que ningún participante indicara estar totalmente de acuerdo. Estos resultados ratifican que la estructura tridimensional de la sala UCI no genera sobrecarga cognitiva, ofreciendo un entorno ergonómico y amigable.

- **Pregunta 9: Me sentí muy seguro y confiado al interactuar con el entorno virtual.**

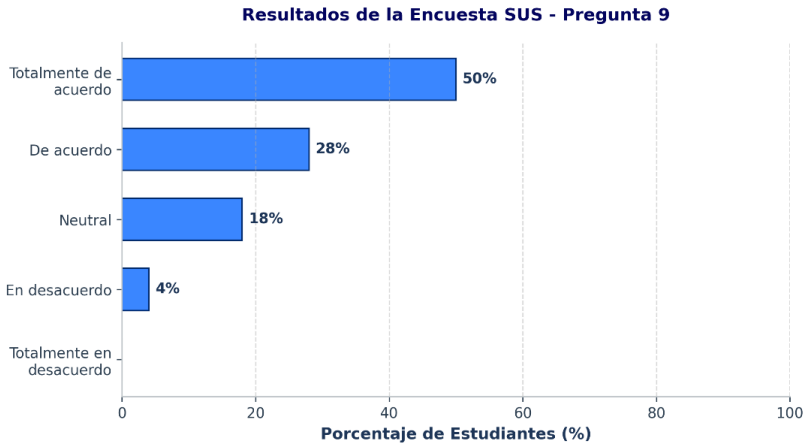


Figura 69. Resultados encuesta SUS pregunta 9

En la Figura 69, los resultados se obtuvieron de la siguiente manera por parte de los estudiantes de enfermería. El 28% de los encuestados indicó estar de acuerdo con la afirmación, mientras que el 50% manifestó estar totalmente de acuerdo. Por otro lado, el 18% permaneció neutral, el 4% expresó desacuerdo y ningún participante indicó estar totalmente en desacuerdo.

Estos resultados reflejan que la simulación inmersiva transmite seguridad y confianza psicológica a los alumnos para explorar libremente los activos hospitalarios sin temor a cometer errores técnicos.

- **Pregunta 10: Necesité aprender muchas cosas antes de poder empezar a usar el sistema.**

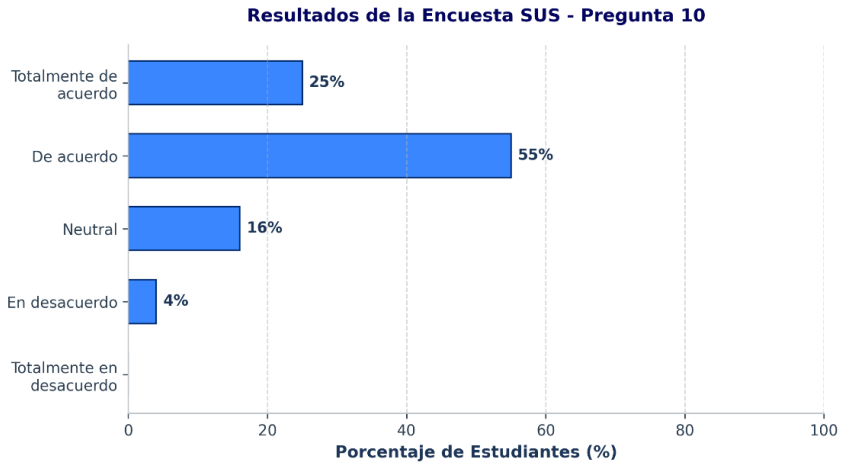


Figura 70. Resultados encuesta SUS pregunta 10

En la Figura 70, los resultados se obtuvieron de la siguiente manera por parte de los estudiantes de enfermería. El 55% indicó estar de acuerdo con la afirmación, mientras que el 25% manifestó estar totalmente de acuerdo. Por otro lado, el 16% permaneció neutral y un 4% expresó desacuerdo. Estos resultados reflejan que la mayoría sintió que debía adquirir conocimientos teóricos previos antes de ingresar al simulador, lo cual valida la naturaleza especializada de la Unidad de Cuidados Intensivos, donde se requiere dominar las bases de enfermería para interpretar el entorno correctamente.

c. Tabla de resumen de resultados de la escala Likert

Tabla 66. Resultados consolidados de la escala (SUS) aplicada a estudiantes de enfermería de la Universidad Técnica de Ambato.

Pregunta	Enunciado del reactivo SUS	Totalmente en Desacuerdo (1)	En Desacuerdo (2)	Neutral (3)	De Acuerdo (4)	Totalmente de Acuerdo (5)
P1	Creo que me gustaría usar este sistema de la Sala UCI con frecuencia.	2%	4%	11%	8%	75%
P2	Encontré que el sistema es innecesariamente complejo.	65%	12%	14%	6%	3%

Pregunta	Enunciado del reactivo SUS	Totalmente en Desacuerdo (1)	En Desacuerdo (2)	Neutral (3)	De Acuerdo (4)	Totalmente de Acuerdo (5)
P3	Considero que el sistema de la Sala UCI es fácil de utilizar.	2%	4%	11%	31%	52%
P4	Creo que necesitaría el apoyo de un técnico o tutor para poder utilizar este sistema.	4%	8%	23%	30%	35%
P5	Encuentro que las diversas funciones del sistema están muy bien integradas.	0%	2%	8%	32%	58%
P6	Me pareció que el sistema de la Sala UCI presentaba demasiadas inconsistencias.	60%	30%	8%	2%	0%
P7	Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar este sistema muy rápidamente.	0%	4%	6%	73%	17%
P8	Me pareció que el sistema de la Sala UCI es muy difícil de manejar.	68%	10%	16%	6%	0%
P9	Me sentí muy seguro y confiado al interactuar con el entorno virtual.	0%	4%	18%	28%	50%
P10	Necesité aprender muchas cosas antes de poder empezar a usar el sistema.	0%	4%	16%	55%	25%

El análisis cuantitativo consolidado en la Tabla 66 aporta la evidencia estadística respecto a la viabilidad, usabilidad y desempeño del entorno virtual inmersivo que simula la UCI como herramienta de apoyo didáctico. Al evaluar la interacción directa de la muestra de 51 estudiantes de Enfermería, los reactivos de percepción positiva

(P1, P3, P7 y P9) alcanzaron niveles de aprobación superiores al 80%, lo que confirma que el ecosistema simulado es altamente intuitivo, amigable y capaz de transmitir la seguridad y confianza psicológica necesarias para explorar el inventario biomédico sin temor a cometer errores técnicos. Asimismo, los marcados índices de desacuerdo en los reactivos de control y complejidad (P2, P6 y P8) descartan la existencia de sobrecarga cognitiva o la presencia de fallas técnicas en la aplicación. Estos indicadores consolidan estadísticamente al simulador interactivo en Realidad Virtual como una solución tecnológica madura, estable y eficiente para su incorporación complementaria dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje de la carrera.

3.4 Pruebas

Esta sección describe el conjunto de pruebas ejecutadas para evaluar la integridad, el comportamiento y la calidad funcional del ecosistema digital desarrollado. En este apartado se encontrarán estructurados los escenarios de validación funcional que evalúan el sistema de cara a la experiencia del usuario, complementados con auditorías de análisis estático automatizado en la nube. A través de este enfoque doble, se busca garantizar que la solución informática sea operativamente precisa y estructuralmente segura antes de su implementación definitiva.

3.4.1 Pruebas de aceptación funcional

Las pruebas de aceptación funcional constituyen el núcleo de la validación orientada al usuario, teniendo como propósito verificar que los componentes del sistema cumplan con los criterios de comportamiento establecidos. Estas evaluaciones simulan las acciones reales de estudiantes y docentes dentro de los entornos desarrollados, validando flujos de navegación y procesos clave mediante una estructura sistemática de pasos y resultados esperados. Con este diseño, se audita que la suite informática responda con total correspondencia y estabilidad lógica frente a las operaciones del usuario.

Tabla 67. Caso de prueba: Construcción y ensamble del entorno clínico 3D

Código: CPA-01	
Historia de Usuario: HU-01 Construcción y ensamble del entorno clínico 3D	
Nombre: Verificación del posicionamiento de mallas e infraestructura base en Unity.	
Descripción:	Valida que el escenario tridimensional de la Sala UCI y del pasillo de acceso integre correctamente los modelos de poligonización baja (Low-poly) con sus colisionadores físicos funcionales.
Entrada / Pasos	Inicializar el entorno del proyecto dentro del motor gráfico Unity 3D. Cargar la escena principal correspondiente al módulo de simulación clínica. Verificar de forma visual y jerárquica la colocación de la infraestructura (muros, compuertas) y los activos biomédicos. Inspeccionar el Inspector de componentes para constatar la presencia de Colliders activos.
Resultado Esperado	El sistema estructura la escena respetando las dimensiones y la distribución real de una unidad de cuidados críticos. Todas las mallas físicas poseen colisionadores activos listos para interactuar con los rayos de selección.
Evaluación	Aprobado. Las colisiones e infraestructura base se despliegan de forma estricta y sin superposición de mallas tridimensionales.

Tabla 68. Caso de prueba: Inicio de sesión en Realidad Virtual

Código: CPA-02	
Historia de Usuario: HU-02 Inicio de Sesión en el sistema (VR)	
Nombre: Validación de credenciales de acceso seguro en el entorno virtual.	
Descripción:	Verifica que el estudiante o docente pueda iniciar sesión introduciendo su cuenta y contraseña mediante el panel interactivo inicial y el teclado virtual inmersivo.
Entrada / Pasos	Colocarse el visor autónomo Meta Quest 3 e iniciar la aplicación del simulador. Apuntar con el puntero láser del controlador hacia los campos de entrada del panel interactivo. Digitar el correo institucional y la contraseña correspondiente utilizando el teclado virtual. Presionar el botón virtual "Ingresar".
Resultado Esperado	El sistema captura las entradas del teclado virtual, valida de forma asíncrona los datos contra la base de datos relacional PostgreSQL a

Código: CPA-02	
	través de la API del backend y permite el ingreso al pasillo de acceso hospitalario.
Evaluación	Aprobado. El acceso se restringe ante credenciales inválidas o campos vacíos, desplegando un mensaje de error dentro del entorno de realidad virtual.

Tabla 69. Caso de prueba: Navegación de acceso y transición por portales espaciales

Código: CPA-03	
Historia de Usuario: HU-03 Navegación de acceso inicial	
Nombre: Carga dinámica del entorno clínico desde el pasillo de preparación.	
Descripción:	Valida que el pasillo central hospitalario funcione correctamente como una zona de transición intermedia, activando la carga de la Sala UCI únicamente por colisiones físicas deliberadas.
Entrada / Pasos	Autenticarse exitosamente en el sistema inmersivo. Explorar y desplazarse libremente por el pasillo central hospitalario de preparación. Dirigirse hacia las compuertas principales de la UCI cruzar el umbral de la puerta.
Resultado Esperado	El motor gráfico Unity detecta la colisión mecánica real entre el avatar del estudiante y el volumen delimitador de la entrada, gatillando de forma fluida el cambio de escena y la carga en memoria de la sala clínica.
Evaluación	Aprobado. Si el usuario permanece explorando el pasillo sin interactuar o cruzar el portal de la puerta, el sistema lo mantiene en la zona intermedia sin activar falsos cambios de escena.

Tabla 70. Caso de prueba: Control de movimiento y desplazamiento libre en primera persona

Código: CPA-04	
Historia de Usuario: HU-04 Control de movimiento en primera persona (VR)	
Nombre: Traslación y rotación continua en la escena mediante joysticks físicos.	
Descripción:	Valida que el estudiante pueda caminar, girar y retroceder libremente por los escenarios virtuales utilizando los mandos analógicos del visor autónomo para familiarizarse con el espacio.
Entrada / Pasos	Ingresar de forma efectiva a la escena interactiva de la Sala UCI virtual.

Código: CPA-04	
	Manipular los joysticks analógicos de los controladores de las Meta Quest 3 hacia adelante, atrás o los flancos. Soltar repentinamente los joysticks mecánicos en un punto específico de la sala.
Resultado Esperado	El motor Unity procesa los comandos de traslación de la cámara de manera fluida y continua por todo el escenario en primera persona. Al dejar de presionar los mandos, la traslación se detiene de forma inmediata, manteniendo la estabilidad de la imagen exacta para prevenir desorientación.
Evaluación	Aprobado. El sistema de locomoción opera de manera estable, manteniendo la cámara fija al cesar la entrada física del usuario.

Tabla 71. Caso de prueba: Interacción informativa y despliegue de fichas técnicas biomédicas.

Código: CPA-05	
Historia de Usuario: HU-05 Interacción y despliegue de fichas técnicas (VR)	
Nombre: Disparo de rayos interactivos sobre activos clínicos de la UCI.	
Descripción:	Valida que el estudiante pueda apuntar a cualquiera de los equipos biomédicos dentro del cubículo inmersivo para activar y leer su respectiva información didáctica y funcional.
Entrada / Pasos	Ubicarse frente a un equipo biomédico específico dentro de la Sala UCI virtual. Apuntar directamente hacia el chasis del equipo utilizando el puntero láser del controlador de las Meta Quest 3. Mantener el puntero sobre el activo para estudiar la ficha técnica flotante desplegada. Desviar el puntero del controlador hacia un espacio vacío de la sala.
Resultado Esperado	Al colisionar el Raycast con la malla del equipo, el sistema activa de forma inmediata un lienzo tridimensional (Canvas World Space) legible que flota sobre el modelo 3D con su nombre técnico y función. Al retirar el puntero, la interfaz se oculta de manera automática para limpiar el campo visual.
Evaluación	Las consultas a la base de datos a través del servicio de información responden sin latencia y los lienzos flotantes siguen de forma estable la orientación de la cámara del usuario para garantizar legibilidad.

Tabla 72. Caso de prueba: Cierre de sesión y liberación de procesos en realidad virtual

Código: CPA-06	
Historia de Usuario: HU-06 Cierre de sesión y salida en VR	
Nombre: Finalización de sesión inmersiva y descarga de assets en memoria.	
Descripción:	Verifica que el estudiante o docente pueda cerrar de forma correcta su sesión activa desde el menú virtual para invalidar sus credenciales temporales y regresar al inicio.
Entrada / Pasos	Desplegar el menú interactivo tridimensional dentro del simulador de la UCI. Seleccionar e interactuar con el botón virtual de Cerrar Sesión.
Resultado Esperado	El sistema invalida de inmediato el token de autenticación activa, limpia los subprocesos de red abiertos con la base de datos PostgreSQL, descarga de la memoria los activos gráficos de la sala clínica y recarga automáticamente la escena del panel de login inicial.
Evaluación	Aprobado. El entorno de simulación libera correctamente los recursos de red y memoria RAM al salir del sistema de forma controlada.

Tabla 73. Caso de prueba: Inicio de sesión en la plataforma web

Código: CPA-07	
Historia de Usuario: HU-07 Inicio de sesión en plataforma web	
Nombre: Autenticación global y acceso a la plataforma web	
Descripción:	Verifica que el docente o administrador web pueda ingresar sus credenciales institucionales en el login para validar su acceso y rol correspondiente de manera segura.
Entrada / Pasos	Abrir la interfaz web de la plataforma en el navegador de internet. Ingresar el correo institucional (@uta.edu.ec) y la contraseña en los campos interactivos. Presionar el botón "Iniciar Sesión".
Resultado Esperado	El backend valida la información de forma síncrona, verifica la firma del hash de la contraseña, emite un token JWT de sesión seguro y la interfaz en React redirecciona automáticamente al usuario al panel de control administrativo.
Evaluación	Aprobado. El servidor deniega el acceso ante credenciales incorrectas, inexistentes o vacías, mostrando un mensaje de alerta informativo sin exponer detalles críticos de seguridad.

Tabla 74. Caso de prueba: Registro de nuevos usuarios en la plataforma web

Código: CPA-08	
Historia de Usuario: HU-08 Registro de perfiles en plataforma web.	
Nombre: Creación autónoma de cuentas y perfiles institucionales.	
Descripción:	Valida que el personal de la carrera de Enfermería pueda registrar una cuenta nueva completando los campos obligatorios de identificación y resguardo criptográfico.
Entrada / Pasos	Abrir el formulario de registro en la interfaz de la plataforma web. Completar todos los campos obligatorios (nombres, apellidos, correo institucional y credenciales de seguridad). Presionar el botón de registro.
Resultado Esperado	El cliente envía la información al servidor, el cual aplica un mecanismo de hashing criptográfico robusto a la contraseña antes de guardar el nuevo perfil de forma segura en la base de datos PostgreSQL.
Evaluación	Aprobado. La interfaz detiene el proceso de manera inmediata y despliega mensajes de validación si existen campos obligatorios vacíos o formatos de correo incorrectos, sin realizar peticiones basura al backend.

Tabla 75. Caso de prueba: Gestión y control administrativo de cuentas estudiantiles

Código: CPA-09	
Historia de Usuario: HU-09 Gestión de cuentas estudiantiles	
Nombre: Consulta, modificación y eliminación (CRUD) de registros de alumnos.	
Descripción:	Verifica que el docente o administrador disponga de un módulo específico para auditar, actualizar información académica o dar de baja perfiles estudiantiles autorizados.
Entrada / Pasos	Iniciar sesión en la plataforma web con rango docente. Ingresar a la sección específica de gestión de "Alumnos" mediante el menú de navegación lateral. Interactuar con las opciones de edición o eliminación en la fila de un estudiante específico.
Resultado Esperado	La interfaz de React renderiza dinámicamente el listado estructurado de estudiantes con datos en tiempo real de PostgreSQL. Al modificar o eliminar, el sistema solicita una confirmación en pantalla antes de procesar el cambio definitivo en el backend.
Evaluación	Aprobado. Las operaciones CRUD se sincronizan de forma limpia y transparente, actualizando el listado visual de alumnos de forma inmediata tras cada acción.

Tabla 76. Caso de prueba: Gestión de salas de simulación

Código: CPA-10	
Historia de Usuario: HU-10 Control integral (CRUD) de salas de simulación	
Nombre: Operación sobre los entornos virtuales de simulación de cuidados intensivos.	
Descripción:	Valida que el docente pueda crear, consultar, modificar y eliminar las especificaciones espaciales de las salas virtuales disponibles en el sistema.
Entrada / Pasos	Acceder al módulo de "Salas de Simulación" dentro del dashboard de la plataforma web. Llenar los campos obligatorios (nombre y descripción técnica descriptiva) en el formulario de creación o edición. Confirmar la acción presionando el botón de guardar o eliminar según corresponda.
Resultado Esperado	El backend procesa las solicitudes directamente sobre la base de datos relacional PostgreSQL para actualizar los entornos disponibles, reflejando e insertando las modificaciones al instante en las tablas de la interfaz web.
Evaluación	Aprobado. El sistema procesa los formularios impidiendo la inserción de datos nulos y remueve visualmente las salas dadas de baja al segundo de confirmar la acción.

Tabla 77. Caso de prueba: Control técnico de equipos en sala UCI

Código: CPA-11	
Historia de Usuario: HU-11 Control técnico (CRUD) de inventario biomédico	
Nombre: Sincronización y administración de variables de emparejamiento para mallas 3D (UnityTag).	
Descripción:	Verifica que el docente pueda administrar el inventario de equipos biomédicos enlazando de forma estricta la variable UnityTag Match de la base de datos con las propiedades físicas de las mallas en Unity.
Entrada / Pasos	Navegar al apartado de inventario técnico de "Equipos Médicos" en el dashboard web. Registrar o editar un equipo ingresando su nombre, vinculando la sala relacionada y asignando de forma explícita la variable UnityTag Match. Guardar el formulario o ejecutar la baja de un activo biomédico del listado.
Resultado Esperado	El sistema almacena los datos en PostgreSQL de manera síncrona a través de los servicios de NestJS, dejando lista la llave para el emparejamiento lógico de metadatos la próxima

Código: CPA-11	
	vez que el estudiante interactúe con las mallas 3D dentro del simulador virtual.
Evaluación	Aprobado. La persistencia técnica se actualiza de manera infalible y asegura que los tags biomédicos queden configurados correctamente para la suite de Realidad Virtual.

Tabla 78. Caso de prueba: Restablecimiento de credenciales web

Código: CPA-12	
Historia de Usuario: HU-12 Recuperación de contraseña	
Nombre: Generación de tokens temporales y actualización segura de contraseña web.	
Descripción:	Verifica el flujo seguro de actualización de credenciales mediante el formulario de ingreso y confirmación de la nueva contraseña.
Entrada / Pasos	Ingresar a la pantalla de restablecimiento de contraseña. Digitar la nueva contraseña en el campo correspondiente. Confirmar la contraseña ingresándola exactamente igual en el segundo campo. Presionar el botón "Guardar Nueva Contraseña".
Resultado Esperado	El sistema valida que ambas claves coincidan, cifra la nueva contraseña a través de la API y actualiza el registro en la base de datos de manera inmediata.
Evaluación	Aprobado. El proceso se bloquea si las contraseñas no coinciden o si no cumplen con la longitud mínima de caracteres.

Tabla 79. Caso de prueba: Cierre de sesión web y destrucción de tokens en el cliente

Código: CPA-13	
Historia de Usuario: HU-13 Cierre sesión (web)	
Nombre: Destrucción segura de sesiones activas en navegadores web.	
Descripción:	Permite a los usuarios destruir su sesión activa en el dashboard para resguardar la confidencialidad de la información académica, especialmente en terminales o computadores compartidos.
Entrada / Pasos	Ubicarse en la barra superior o menú de control del dashboard web con sesión activa. Presionar el botón de acción de cierre de sesión.
Resultado Esperado	El sistema elimina por completo los tokens JWT guardados en el almacenamiento local (Local Storage) del navegador web. El enrutador de

Código: CPA-13	
	React deniega inmediatamente el acceso a las vistas privadas del dashboard y redirecciona automáticamente al usuario hacia el login inicial.
Evaluación	Aprobado. Las rutas privadas quedan completamente bloqueadas e inaccesibles tras destruir los datos de sesión en el cliente.

3.4.2 Evaluación de la calidad del software

Para dar cumplimiento a los criterios de mantenibilidad, confiabilidad y seguridad estipulados por la norma ISO/IEC 25010, se sometió el código fuente del sistema distribuido a pruebas de análisis estático automatizado. Mediante el uso de la plataforma de inspección continua SonarQube Cloud, se evaluaron los componentes de la arquitectura lógica, permitiendo identificar tempranamente errores de programación (bugs), malas prácticas (code smells) o vulnerabilidades técnicas antes de su despliegue definitivo en producción.

a. Análisis de código del módulo backend

El análisis estático aplicado al código fuente del backend (desarrollado bajo el ecosistema NestJS y TypeScript) arrojó resultados altamente satisfactorios bajo el perfil de calidad estándar de la industria. Como se evidencia en la Figura 71, el motor de análisis evaluó un entorno compuesto por 754 líneas de código limpio dentro de una estructura global de 947 líneas de código procesadas.

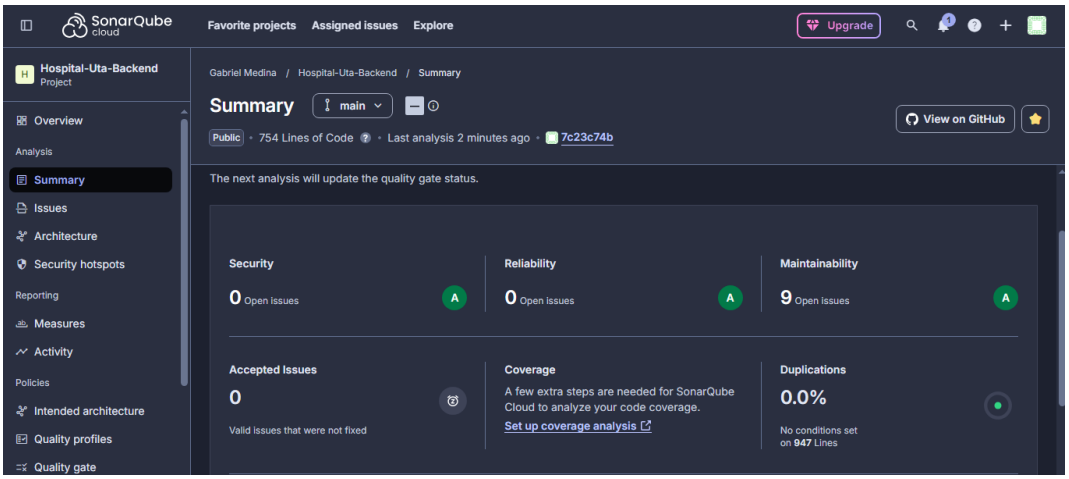


Figura 71. Resultados del análisis de calidad de software en SonarQube Cloud para el módulo Hospital-Uta-Backend.

Seguridad y confiabilidad: El módulo backend alcanzó la máxima calificación (A) en ambas dimensiones, registrando de forma óptima 0 vulnerabilidades abiertas (Open issues) y 0 errores lógicos (Bugs). Esto certifica que el diseño de los endpoints y los flujos de control de la API se encuentran blindados contra fallos procedimentales e intrusiones externas.

Mantenibilidad: El sistema consolidó una ponderación de rango A. A pesar de reportar 9 observaciones menores de código (Code Smells), la métrica asegura que la arquitectura de software basada en microservicios y decoradores de NestJS es altamente limpia, facilitando la adición de nuevos módulos clínicos o lógica de negocio sin comprometer la estabilidad del sistema preexistente.

Código Duplicado: El índice de redundancia de código se situó de manera idónea en un 0.0% sobre un total de 947 líneas evaluadas. Este indicador técnico demuestra un estricto apego al principio DRY (Don't Repeat Yourself) mediante el uso eficiente de servicios inyectables y controladores modulares que optimizan el procesamiento en el servidor.

b. Análisis de código del módulo frontend

El análisis estático automatizado aplicado al código fuente del frontend (registrado bajo el repositorio Hospital-Uta y desarrollado con la biblioteca React y TypeScript) arrojó indicadores de madurez técnica sobresalientes bajo el perfil de calidad Sonar way. Como se evidencia en la Figura 72, el motor de inspección continua evaluó de manera integral un entorno compuesto por 2,100 líneas de código limpio dentro de una estructura global de 2,400 líneas de código procesadas. Los resultados métricos individuales confirman el cumplimiento de los estándares internacionales de la norma ISO/IEC 25010.

Este nivel de optimización refleja una arquitectura de componentes altamente modular y tipada, lo que minimiza la deuda técnica acumulada y facilita el mantenimiento evolutivo del sistema. La alta tasa de cobertura y la ausencia de vulnerabilidades críticas subrayan la robustez del código ante posibles cambios de requerimientos o actualizaciones de las librerías base.

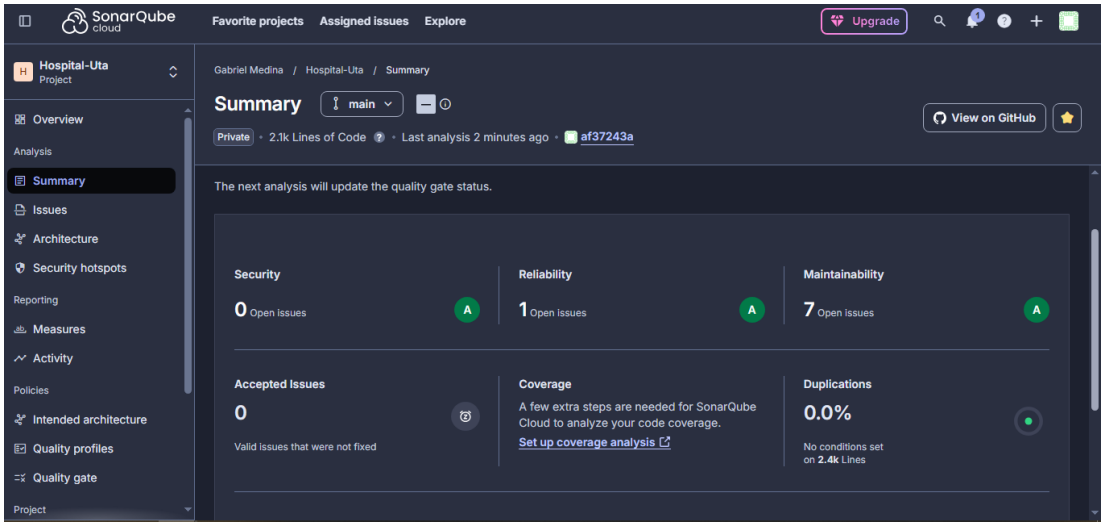


Figura 72. Resultados del análisis de calidad de software en SonarQube Cloud para el módulo de la plataforma web Hospital-Uta (Frontend).

Seguridad y Confiabilidad: El módulo frontend obtuvo la calificación máxima (A) en ambos pilares operacionales. Se registraron 0 vulnerabilidades de seguridad abiertas (Security issues) y únicamente 1 observación de confiabilidad aislada (Open issue) en la totalidad del entorno analizado, asegurando una interfaz web altamente robusta y minimizando la probabilidad de excepciones de renderizado durante la navegación del usuario.

Mantenibilidad: Se consolidó una ponderación de rango A en la plataforma. A pesar de identificar 7 advertencias de código (Code Smells), la métrica certifica que la arquitectura basada en componentes estructurados de React es limpia y legible, lo que disminuye notablemente la deuda técnica y facilita la adición o modificación de formularios de gestión académica y vistas interactivas en el futuro.

Código Duplicado: El índice de redundancia se situó de manera idónea en un 0.0% sobre un total de 2,400 líneas evaluadas (2.4k Lines). Esta evidencia técnica demuestra una correcta reutilización de elementos visuales y un uso eficiente de ganchos (custom hooks) personalizados, optimizando el rendimiento de la memoria del navegador al eliminar por completo la clonación innecesaria de código fuente.

3.4.3 Evaluación de expertos del sistema

Con el propósito de fortalecer la validación del simulador, se incorporó una evaluación pedagógica realizada por docentes y especialistas en cuidados críticos. Este proceso permitió analizar si la herramienta es adecuada para el entorno de enseñanza, si cumple con los requerimientos del plan de estudios y si es realmente útil para el aprendizaje, más allá de su funcionamiento técnico. La evaluación fue diseñada para valorar la capacidad del sistema para favorecer la familiarización espacial y el reconocimiento de equipos biomédicos antes de las prácticas hospitalarias reales.

Para este proceso se utilizó una rúbrica estructurada en diez criterios clave valorados mediante una escala tipo Likert (1 a 5). La metodología aplicada para validar la consistencia de este instrumento se basó en el Coeficiente de Validez de Contenido (CVC) de Hernández-Nieto, garantizando así la fiabilidad del juicio emitido por los expertos. El detalle completo del instrumento aplicado se encuentra disponible en el Anexo V.

Las dimensiones evaluadas fueron las siguientes:

Pertinencia curricular: Verifica la alineación de los contenidos y escenarios del simulador con los resultados de aprendizaje de las asignaturas de cuidados críticos.

Utilidad didáctica: Establece si el recurso facilita el refuerzo o la práctica de contenidos que presentan limitaciones de acceso físico en entornos tradicionales.

Realismo formativo: Valora si la disposición espacial y la representación de los equipos biomédicos favorecen una experiencia fiel al entorno hospitalario.

Familiarización técnica: Determina si el entorno permite al estudiante reconocer con precisión los equipos y funciones dentro de la sala.

Aplicabilidad docente: Analiza la viabilidad de integrar el simulador en actividades académicas como prácticas guiadas, sesiones de inducción o aprendizaje autónomo.

La rúbrica utilizada para la evaluación pedagógica por parte de los expertos se detalla en la Tabla 80

Tabla 80. Rúbrica de evaluación pedagógica del simulador UCI

Dimensión evaluada	Criterio de valoración	Escala Likert
Ajuste a los temas de clase	El simulador se relaciona con los resultados de aprendizaje de la carrera de Enfermería	1 a 5
Valor práctico para el aprendizaje	El entorno virtual facilita el refuerzo y la práctica de temas asociados a una UCI	1 a 5
Calidad de la simulación	La representación del entorno y los equipos resulta adecuada para fines educativos	1 a 5
Reconocimiento de equipos	El simulador permite identificar equipos médicos y funciones básicas dentro de la UCI	1 a 5
Facilidad de uso para los profesores	El recurso puede integrarse en clases, prácticas o actividades de aprendizaje autónomo	1 a 5
Claridad de interacción	Las acciones del estudiante en el entorno son claras y coherentes con el aprendizaje	1 a 5
Seguridad formativa	El entorno permite practicar sin riesgos para pacientes, estudiantes o equipos reales	1 a 5
Valor pedagógico global	El simulador es un recurso útil para apoyar la enseñanza en Enfermería	1 a 5

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras aplicar la rúbrica definida anteriormente. Como se detalla en la Tabla 81, los expertos otorgaron valoraciones altamente positivas en todas las dimensiones evaluadas. Este análisis demuestra una consistencia significativa en el desempeño del simulador, logrando un promedio global que valida su pertinencia y utilidad pedagógica en el contexto de la formación de enfermería.

Tabla 81. Resultados detallados de la evaluación pedagógica por expertos

Dimensión evaluada	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Promedio
Ajuste a los temas de clase	5	4	5	5	5	4.8
Valor práctico para el aprendizaje	4	5	5	4	5	4.6
Calidad de la simulación	5	5	4	5	5	4.8
Reconocimiento de equipos	5	4	5	5	4	4.6

Dimensión evaluada	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Promedio
Facilidad de uso para los profesores	4	5	4	4	5	4.4
Claridad de interacción	5	5	5	5	4	4.8
Seguridad formativa	5	5	5	5	5	5.0
Valor pedagógico global	5	4	5	5	5	4.8

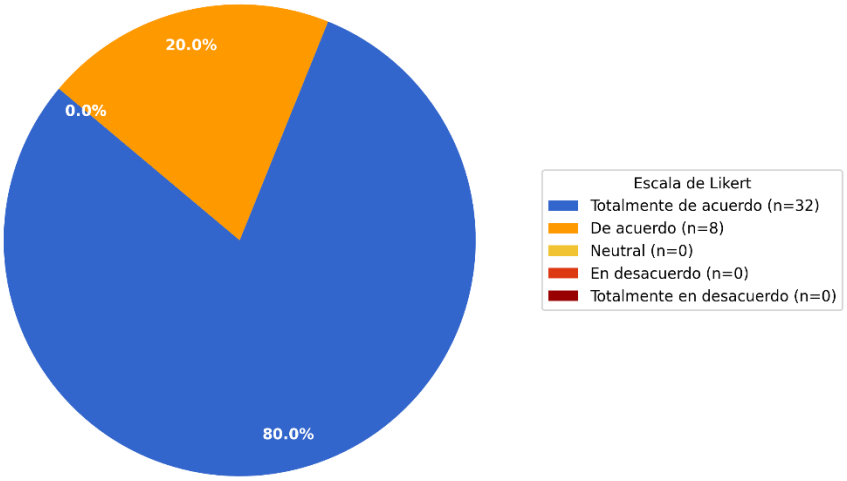


Figura 73. Resumen de la valoración global de expertos según escala de Likert

La Figura 73 sintetiza la percepción unánime de los expertos, quienes identifican en el simulador un recurso didáctico de alto impacto capaz de cerrar la brecha entre la teoría y la práctica clínica. Esta validación refleja la alta fidelidad del entorno virtual y su alineación estratégica con las necesidades formativas actuales en Enfermería.

En consecuencia, la ausencia de valoraciones negativas confirma que el sistema es una herramienta técnica y pedagógicamente madura, consolidada como un soporte esencial para la enseñanza segura y efectiva antes del entorno hospitalario real.

3.4.4 Evaluación del aprendizaje mediante pretest y postest

Con el propósito de determinar el impacto del entorno virtual inmersivo en el proceso de enseñanza, se aplicó un diseño evaluativo tipo pretest-postest a 51 estudiantes de

Enfermería. Este procedimiento permitió medir el nivel de competencia previo y posterior a la interacción con el simulador, enfocándose en dos dimensiones esenciales para la preparación clínica: el reconocimiento técnico de equipos biomédicos y la familiarización espacial con el entorno de la UCI.

La estructura pedagógica de los reactivos fue fundamentada en la Taxonomía de Bloom, permitiendo categorizar los niveles de conocimiento (identificación técnica) y aplicación (comprensión espacial) de manera objetiva. El instrumento aplicado consta de 12 ítems, donde cada respuesta correcta equivale a 2 puntos, para una calificación máxima de 24 puntos. El detalle completo del mismo se encuentra disponible en el Anexo W.

Las dimensiones evaluadas fueron las siguientes:

Reconocimiento de equipos biomédicos: Evalúa la capacidad del estudiante para identificar dispositivos de ventilación, soporte vital, administración de fármacos y monitoreo crítico.

Familiarización espacial con la UCI: Determina la destreza del estudiante para reconocer la distribución operativa, zonas de circulación y ubicación de equipos dentro del área de cuidados intensivos.

Esta evaluación multidimensional asegura que el impacto del simulador no se limite únicamente a la absorción de conceptos teóricos, sino que cuantifique la mejora real en la competencia procedimental del estudiante. Al contrastar el desempeño antes y después de la inmersión, se valida la eficacia pedagógica del entorno virtual para reducir la curva de aprendizaje en escenarios de alta complejidad. Los resultados obtenidos sirven como evidencia empírica de cómo la familiarización espacial, mediada por tecnología de realidad virtual, fortalece la confianza del futuro profesional de Enfermería al integrarse en una Unidad de Cuidados Intensivos, permitiéndole operar con mayor seguridad y precisión técnica desde su primera intervención real en el ámbito hospitalario.

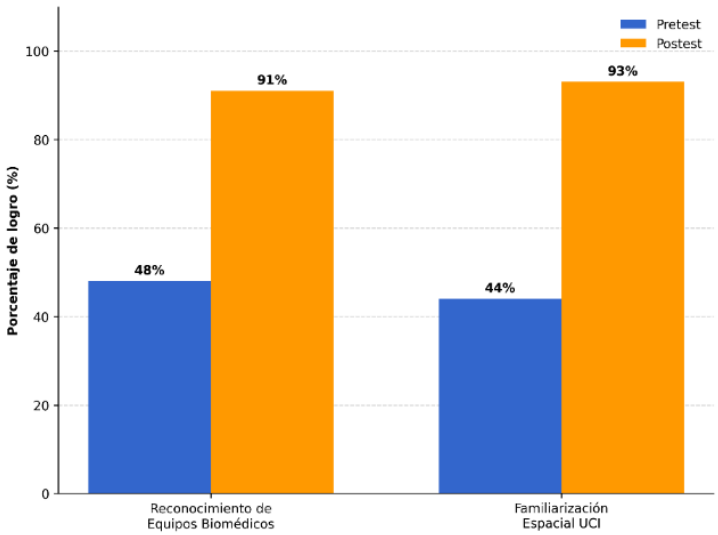


Figura 74. Evolución del rendimiento académico: Pretest vs postest

Como se ilustra en la Figura 74, los resultados del postest reflejan una mejora significativa en las dimensiones evaluadas tras la interacción con el simulador. El reconocimiento de equipos aumentó del 48% al 91% (+43%), mientras que la familiarización espacial presentó un incremento aún más notable, pasando del 44% al 93% (+49%).

El análisis de estos resultados confirma que la inmersión virtual no solo estandariza los conocimientos técnicos, sino que logra una familiarización espacial profunda, reduciendo drásticamente la incertidumbre técnica inicial del estudiante. Esta progresión, con una mejora promedio superior al 45% en ambas dimensiones, valida al sistema como un soporte esencial y altamente efectivo para fortalecer las competencias prácticas antes de que el estudiante se enfrente a la complejidad de un entorno hospitalario real.

3.5 Implantación

La puesta en marcha definitiva del ecosistema digital se estructuró de manera progresiva para asegurar una transición estable y segura desde los entornos de desarrollo hacia los servidores de producción y los dispositivos autónomos de Realidad Virtual. El proceso garantiza la sincronización de la plataforma web administrativa con la experiencia inmersiva en la sala UCI.

a. Requisitos técnicos de infraestructura e implantación

Para que el ecosistema funcione de forma óptima sin pérdidas de paquetes o caídas en la tasa de refresco, la infraestructura tecnológica debe cumplir de manera estricta con los siguientes requerimientos mínimos y recomendados:

Tabla 82. Requisitos de hardware y software para la implantación

Componente	Requisito de hardware	Requisito de software / red
Servidor Backend y API	CPU: 2 Cores vCPU (mínimo). RAM: 4 GB. Almacenamiento: 20 GB SSD.	Sistema Operativo: Linux (Ubuntu Server v22.04 LTS). Entorno: Node.js v18+, PostgreSQL v15. Seguridad: Certificado SSL/TLS (HTTPS).
Terminal de Gestión Web	CPU: Intel Core i3 / AMD Ryzen 3. RAM: 8 GB. Monitor: Resolución 1920×1080 px.	Navegador web actualizado (Google Chrome, Edge, Firefox). Acceso a internet mediante red institucional.
Simulador Inmersivo	Visor Autónomo: Meta Quest 2, Quest 3 o Quest Pro. Mandos: Controladores Quest Touch con baterías cargadas.	Sistema Operativo: Meta Quest OS v60 o superior. Paquete: Archivo binario compilado (.apk). Conectividad: Wi-Fi con ancho de banda optimo.

b. Flujo logístico del proceso de despliegue

La implantación del ecosistema digital se ejecuta de manera secuencial siguiendo un flujo lógico estructurado en tres niveles interconectados, un procedimiento de ingeniería que asegura que ningún cliente intente conectarse al sistema antes de que los servicios centrales estén completamente validados.

El proceso inicia en un primer nivel con el despliegue en el lado del servidor, el cual comprende la migración del esquema relacional hacia la base de datos PostgreSQL en el entorno de producción y el arranque del código fuente en NestJS, permitiendo verificar de forma inmediata la activación de los endpoints y el correcto

funcionamiento del middleware encargado de la encriptación y la generación de tokens de seguridad.

Una vez consolidada la infraestructura base del servidor, la implantación avanza de forma fluida hacia el segundo nivel, enfocado en la publicación del cliente web para la gestión administrativa. En esta etapa se genera la compilación final optimizada de la aplicación en React y se alojan los archivos estáticos en el servidor de hosting de la institución, lo que permite realizar profesiones en tiempo real para constatar que los formularios de registro, el inicio de sesión y el panel de control del docente se enlacen de manera síncrona y sin latencia con la dirección de la API establecida en el paso anterior.

Finalmente, el flujo logístico concluye en el tercer nivel con la distribución inmersiva orientada a la Realidad Virtual, donde se ejecuta la compilación del entorno virtual de la Sala UCI dentro del motor Unity 3D para generar el archivo instalador con extensión ejecutable.

Este paquete binario es transferido de forma directa al almacenamiento interno de los visores Meta Quest mediante una conexión física utilizando la técnica de carga lateral, habilitando las configuraciones de red inalámbrica dentro de las gafas para que los estudiantes de enfermería inicien sesión e interactúen con los activos biomédicos consumiendo los servicios del ecosistema de manera síncrona en el laboratorio.

c. Diagrama de despliegue

La distribución física de los componentes de hardware, los entornos de ejecución y los artefactos de software que dan soporte operativo al ecosistema digital se estructuran bajo un modelo cliente-servidor descentralizado, diseñado para garantizar una alta disponibilidad de los servicios y una baja latencia en la sincronización de las simulaciones clínicas.

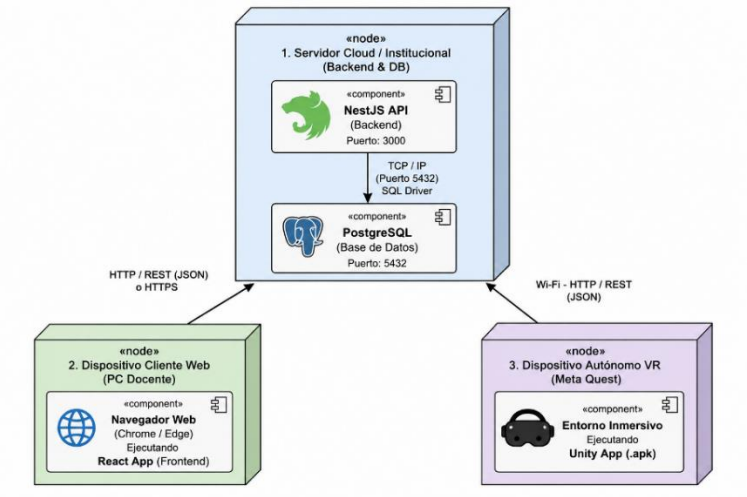


Figura 75. Diagrama de despliegue y topología de red del ecosistema digital.

La Figura 75 ilustra la arquitectura cliente-servidor distribuida en tres nodos. El núcleo central, alojado en servicios en la nube (Railway para el backend en NestJS y Vercel para el frontend en React), gestiona la lógica de negocio y la persistencia en PostgreSQL. La interacción se realiza mediante dos clientes síncronos: el entorno web para gestión docente y el entorno inmersivo en Realidad Virtual (Meta Quest), que consume los servicios de la API vía Wi-Fi, garantizando la sincronización en tiempo real de los activos biomédicos de la sala UCI con el servidor.

La ejecución secuencial de estos niveles de despliegue y la configuración técnica de la infraestructura validan la implantación del entorno virtual basado en Realidad Virtual. Al integrar de manera síncrona el simulador de la UCI, la plataforma web administrativa y el motor de persistencia, se materializa una solución tecnológica que facilita la familiarización espacial y técnica de los estudiantes de Enfermería de la Universidad Técnica de Ambato. Este proceso garantiza la operatividad del ecosistema y establece un entorno de simulación funcional, estable y replicable, dotando a la institución de una herramienta avanzada que optimiza el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante la experimentación inmersiva

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se implantó con éxito el entorno virtual inmersivo en Realidad Virtual para la simulación de la Unidad de Cuidados Intensivos, funcionando como una herramienta innovadora para el proceso de enseñanza. El resultado general de todo este trabajo demuestra que el entorno inalámbrico en los visores y la plataforma web se comunican perfectamente. Esto permite que los estudiantes de la carrera de Enfermería de la Universidad Técnica de Ambato logren una verdadera familiarización espacial y técnica con los equipos médicos, dándoles una base sólida antes de que vayan a sus prácticas reales en hospitales de alta complejidad.

- Mediante la aplicación de un modelo de selección por factores ponderados basado en la norma ISO/IEC/IEEE 29148:2018, se procedió a analizar el entorno de desarrollo, logrando evaluar cuantitativamente cada tecnología sobre una escala de 5.00 puntos. Este análisis permitió determinar con precisión que el stack compuesto por Unity 3D, C#, NestJS, React y PostgreSQL era el ideal para el proyecto; al fundamentar la elección en este modelo matemático, se garantizó un entorno inmersivo estable que evita mareos por latencia en los estudiantes, junto a una plataforma web de alta velocidad, asegurando un ecosistema técnico óptimo y seguro.

- Bajo los lineamientos de estándares internacionales como las directrices del FGI y la normativa ISO 11197, se concretó el diseño del entorno virtual de la UCI, integrando principios de zonificación estratégica que priorizan la seguridad del paciente y la ergonomía clínica. Esta configuración técnica garantiza que la ubicación de los equipos biomédicos desde el soporte vital hasta el mobiliario de emergencia no responda a criterios estéticos, sino a una lógica de ingeniería hospitalaria que facilita la atención ininterrumpida y optimiza el flujo de trabajo en el entorno inmersivo.

- A través de un riguroso proceso de juicio de expertos y la aplicación de una matriz de contrastación, se validó la fidelidad técnica y el realismo del diseño, logrando un 100% de grado de fidelidad al cumplirse la totalidad de los 25 atributos médicos y morfológicos exigidos. Este rigor en el modelado asegura que el estudiante interactúe con una representación exacta de la tecnología médica real, eliminando la improvisación visual y estableciendo una base técnica sólida y normalizada para su implementación funcional en el motor de desarrollo.

- Gracias a la implementación de la metodología ágil eXtreme Programming, se desarrolló el entorno inmersivo bajo una estructura de fases incrementales de análisis, diseño, codificación y pruebas. Este enfoque metodológico facilitó una integración técnica robusta entre el frontend en Unity 3D, la plataforma web administrativa en React y el backend gestionado en NestJS, asegurando una alta cohesión y escalabilidad en cada componente. La arquitectura resultante fue validada mediante auditorías de código automatizadas (SonarQube), logrando una calificación de excelencia (Rango A) en seguridad y confiabilidad, con un índice de redundancia de código del 0.0%.

- A través de la prueba de usabilidad basada en la escala estandarizada System Usability Scale, se demostró la viabilidad didáctica del simulador en los estudiantes de enfermería de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo resultados cuantitativos que ratifican su éxito como herramienta de apoyo pedagógico. El 90% de los usuarios validó la consistencia interna del sistema y la rapidez de su curva de aprendizaje, confirmando que la fidelidad técnica facilita la inmersión clínica. Si bien el uso del hardware Meta Quest 3 requirió una inducción técnica inicial, la simulación logró transmitir la confianza psicológica necesaria para que los estudiantes exploraran el escenario de manera autónoma, demostrando que la combinación de rigor metodológico y diseño centrado en el usuario constituye un apoyo eficaz para la enseñanza en entornos de cuidados críticos.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda a los futuros desarrolladores e investigadores de la facultad continuar utilizando la metodología ágil XP (Extreme Programming) para la gestión y evolución de este ecosistema digital. Dado que esta metodología facilitó una retroalimentación constante y una integración fluida entre los módulos web y el entorno 3D, mantener sus prácticas de desarrollo (como las iteraciones cortas y las pruebas continuas) garantizará que las nuevas actualizaciones o salas virtuales se implementen de forma organizada, rápida y sin alterar la estabilidad actual del sistema.

- Debido a que la evaluación del cuestionario SUS reflejó una excelente aceptación, pero evidenció que el hardware Meta Quest 3 exige un proceso de adaptación inicial para el manejo de los mandos, se recomienda a las autoridades y docentes de la carrera de Enfermería programar una pequeña sesión de inducción técnica obligatoria antes de iniciar la simulación. Esto resolverá la dificultad del manejo de los controladores, permitiendo que el estudiante explore el espacio clínico de forma 100% autónoma y segura desde el primer minuto.

- Considerando que el diseño en 3D logró cumplir con éxito el 100% de los 25 atributos médicos y morfológicos exigidos por los expertos, se sugiere al personal encargado del mantenimiento del sistema no alterar la estructura gráfica actual de los equipos biomédicos en futuras actualizaciones del código. Mantener esta precisión exacta de la sala UCI es fundamental para garantizar que el reconocimiento visual del estudiante siga siendo fiel a la realidad hospitalaria y libre de improvisaciones.

- Como el éxito de la implantación final depende de la comunicación inalámbrica perfecta entre los visores y la plataforma web, se recomienda asegurar una excelente señal y cobertura de internet Wi-Fi de alta velocidad dentro de los laboratorios y aulas de clase asignadas para las prácticas de Enfermería. Contar con un canal exclusivo para las gafas en estos espacios evitará caídas de señal y garantizará que la familiarización espacial técnica de

los alumnos sea fluida antes de acudir a sus prácticas en hospitales reales de alta complejidad.

- Se recomienda extender el desarrollo de esta plataforma inmersiva y su sistema de gestión web hacia otras áreas críticas y módulos de especialidad médica dentro del entorno hospitalario, tales como el servicio de Urgencias/Emergencias, quirófanos o salas de neonatología. Al aprovechar la arquitectura de software modular implementada (NestJS, React y Unity 3D), la inclusión de nuevos entornos clínicos únicamente requerirá el modelado tridimensional de la infraestructura específica y la actualización del catálogo relacional de equipos biomédicos en la base de datos PostgreSQL. Esto permitirá diversificar el banco de prácticas simuladas de la institución, adaptando el sistema a los protocolos y flujos de trabajo particulares de cada área para ampliar el alcance formativo de los estudiantes de Enfermería en múltiples escenarios de alta complejidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] S. Maloney y T. Haines, «Issues of cost-benefit and cost-effectiveness for simulation in health professions education», *Adv Simul*, vol. 1, n.º 1, p. 13, ene. 2016, doi: 10.1186/s41077-016-0020-3.

[2] N. Casallas-Hernández, C. A. Castillo-Daza, y V. A. González-Guzmán, «Acceptance and effectiveness of high-fidelity simulation in nursing education: Application of the Technology Acceptance Model (TAM)», *Clinical Simulation in Nursing*, vol. 105, p. 101765, ago. 2025, doi: 10.1016/j.ecns.2025.101765.

[3] D. Kiegaldie y L. Shaw, «Virtual reality simulation for nursing education: effectiveness and feasibility», *BMC Nurs*, vol. 22, n.º 1, p. 488, dic. 2023, doi: 10.1186/s12912-023-01639-5.

[4] C. L. Foronda *et al.*, «A Comparison of Virtual Reality to Traditional Simulation in Health Professions Education: A Systematic Review», *Sim Healthcare*, vol. 19, n.º 1S, pp. S90-S97, ene. 2024, doi: 10.1097/SIH.0000000000000745.

[5] S. L. Casey, R. DeBra, K. M. Portaleos, y B. A. Johnson, «Employing systems-based simulation to increase patient safety and maintain efficiency during the transfer of NICU patients», *Clinical Simulation in Nursing*, vol. 105, p. 101773, ago. 2025, doi: 10.1016/j.ecns.2025.101773.

[6] Inacsl Standards Committee, L. Persico, B. Wilson-Keates, H. DiGregorio, S. Decker, y N. Xavier, «Preamble: Grounded in Excellence: The Cornerstone Healthcare Simulation Standards of Best Practice®», *Clinical Simulation in Nursing*, vol. 105, p. 101774, ago. 2025, doi: 10.1016/j.ecns.2025.101774.

[7] S. Mateja y K. Alma, «Education and Training for Quality Work at the Intensive Care Unit», *Int J Nurs Clin Pract*, vol. 3, n.º 1, oct. 2016, doi: 10.15344/2394-4978/2016/206.

[8] F. Costa *et al.*, «Analysis of realistic simulation as an educational tool in the academic and professional contexts of nursing», *International Journal for Innovation Education and Research.*, vol. 9, n.º 2, pp. 87-102, feb. 2021.

[9] M. M. Saab *et al.*, «Virtual Reality Simulation in Nursing and Midwifery Education: A Usability Study», *CIN: Computers, Informatics, Nursing*, vol. 41, n.º 10, pp. 815-824, oct. 2023, doi: 10.1097/CIN.0000000000001010.

[10] R. G. Gomes, S. M. C. L. Fava, R. S. Lima, R. S. Sanches, M. F. C. Gonçalves, y Z. M. R. Resck, «Desenvolvimento da competência de avaliação clínica do paciente crítico por acadêmicos de enfermagem: Contribuição da Simulação», *Esc. Anna Nery*, vol. 24, n.º 4, p. e20190384, 2020, doi: 10.1590/2177-9465-ean-2019-0384.

[11] M. Mergen, N. Graf, y M. Meyerheim, «Reviewing the current state of virtual reality integration in medical education - a scoping review», *BMC Med Educ*, vol. 24, n.º 1, p. 788, jul. 2024, doi: 10.1186/s12909-024-05777-5.

[12] X. Li, D. Elnagar, G. Song, y R. Ghannam, «Advancing Medical Education Using Virtual and Augmented Reality in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic and Critical Review», *Virtual Worlds*, vol. 3, n.º 3, pp. 384-403, sep. 2024, doi: 10.3390/virtualworlds3030021.

[13] T. Soffer, Y. Raban, S. Warshawski, y S. Barnoy, «The impact of emerging technologies on healthcare needs of older people», *Health Policy and Technology*, vol. 13, n.º 5, p. 100935, nov. 2024, doi: 10.1016/j.hlpt.2024.100935.

[14] M. McCarthy, «The Impact of Virtual Simulation on Enhancing Critical Thinking in the Novice Nurse's Patient Care Performance», Northeastern University, Boston, MA, 202d. C.

[15] F. T. Martinez, J. P. Soto, D. Valenzuela, N. González, J. Corsi, y P. Sepúlveda, «Virtual Clinical Simulation for Training Amongst Undergraduate Medical Students: A Pilot Randomised Trial (VIRTUE-Pilot)», *Cureus*, oct. 2023, doi: 10.7759/cureus.47527.
[16] C.-H. Hii y C.-C. Yang, «Comparing the Application Effects of Immersive and Non-Immersive Virtual Reality in Nursing Education: The Influence of Presence and Flow», *Nursing Reports*, vol. 15, n.º 5, p. 149, abr. 2025, doi: 10.3390/nursrep15050149.
[17] D. Mistry, C. A. Brock, y T. Lindsey, «The Present and Future of Virtual Reality in Medical Education: A Narrative Review», *Cureus*, dic. 2023, doi: 10.7759/cureus.51124.
[18] T. Baniasadi, S. M. Ayyoubzadeh, y N. Mohammadzadeh, «Challenges and Practical Considerations in Applying Virtual Reality in Medical Education and Treatment», *Oman Med J*, vol. 35, n.º 3, pp. e125-e125, may 2020, doi: 10.5001/omj.2020.43.
[19] T. Tene, D. F. Vique López, P. E. Valverde Aguirre, L. M. Orna Puente, y C. Vacacela Gomez, «Virtual reality and augmented reality in medical education: an umbrella review», *Front. Digit. Health*, vol. 6, p. 1365345, mar. 2024, doi: 10.3389/fdgth.2024.1365345.
[20] H.-Y. Kim y E.-Y. Kim, «Effects of Medical Education Program Using Virtual Reality: A Systematic Review and Meta-Analysis», *IJERPH*, vol. 20, n.º 5, p. 3895, feb. 2023, doi: 10.3390/ijerph20053895.
[21] A. W. Mariani y P. M. Pêgo-Fernandes, «Medical education: simulation and virtual reality», *Sao Paulo Med. J.*, vol. 129, n.º 6, pp. 369-370, dic. 2011, doi: 10.1590/S1516-31802011000600001.
[22] F. Kreedi, M. Brown, L. Marsh, y K. Rogers, «Newly Graduate Registered Nurses' Experiences of Transition to Clinical Practice: A Systematic Review», *AJNR*, vol. 9, n.º 3, pp. 94-105, abr. 2021, doi: 10.12691/ajnr-9-3-4.
[23] A. Wright *et al.*, «The influence of a full-time, immersive simulation-based clinical placement on physiotherapy student confidence during the transition to clinical practice», *Adv Simul*, vol. 3, n.º 1, p. 3, dic. 2018, doi: 10.1186/s41077-018-0062-9.
[24] P. Escalada-Hernandez, N. Soto-Ruiz, T. Ballesteros-Egüés, A. Larrayoz-Jiménez, y L. S. Martín-Rodríguez, «Usability and user expectations of a HoloLens-based augmented reality application for learning clinical technical skills», *Virtual Reality*, vol. 28, n.º 2, p. 102, abr. 2024, doi: 10.1007/s10055-024-00984-3.
[25] V. E. Chatzea, I. Logothetis, M. Kalogiannakis, M. Rovithis, y N. Vidakis, «Digital Serious Games for Undergraduate Nursing Education: A Review of Serious Games Key Design Characteristics and Gamification Elements», *Information*, vol. 16, n.º 10, p. 877, oct. 2025, doi: 10.3390/info16100877.
[26] H. Marín-Vega, G. Alor-Hernández, M. Bustos-López, I. López-Martínez, y N. L. Hernández-Chaparro, «Extended Reality (XR) Engines for Developing Gamified Apps and Serious Games: A Scoping Review», *Future Internet*, vol. 15, n.º 12, p. 379, nov. 2023, doi: 10.3390/fi15120379.
[27] A. Stavropoulou *et al.*, «Augmented reality in intensive care nursing education: A scoping review», *Nurse Education in Practice*, vol. 83, p. 104263, feb. 2025, doi: 10.1016/j.nepr.2025.104263.
[28] R. Kang *et al.*, «Application of head-mounted display-based augmented and mixed reality in nursing education: a scoping review», *BMC Nurs*, vol. 24, n.º 1, p. 1150, sep. 2025, doi: 10.1186/s12912-025-03413-1.
[29] Z. Zhu, H.-N. Dai, H. Guo, Z. Liao, y Z. Zheng, «VRExplorer: A Model-based Approach for Semi-Automated Testing of Virtual Reality Scenes».
[30] K. Ahaidous, M. Tabaa, H. Hachimi, H. Mouttalib, y M. Youssfi, «Hybrid Data Storage Architecture: A Novel Design Approach Based on Microservices Architecture», *IEEE Access*, vol. 14, pp. 163-191, 2026, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3641384.

[31] R. Kumar Yekollu, T. Bhimraj Ghuge, S. S. Biradar, S. V. Haldikar, y O. F. Mohideen Abdul Kader, «Securing the Virtual Realm: Strategies for Cybersecurity in Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) Applications», en *2024 8th International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, Kirtipur, Nepal: IEEE, oct. 2024, pp. 520-526. doi: 10.1109/I-SMAC61858.2024.10714591.
[32] D. R. Thompson *et al.*, «Guidelines for intensive care unit design*»:, *Critical Care Medicine*, vol. 40, n.º 5, pp. 1586-1600, may 2012, doi: 10.1097/CCM.0b013e3182413bb2.
[33] G.-I. J. Estefania y P.-F. A. Pamela, «MÉTODOS DE EVALUACIÓN EN SIMULACIÓN CLÍNICA: REVISIÓN SISTEMÁTICA», . *Vol.*, vol. 7, 2024.
[34] R. S. Pressman, *Software engineering: a practitioner's approach*, 7th ed. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2010.
[35] B. Obeidat, M. B. Younis, y E. Al-Shlool, «Investigations into the impact of nursing unit layout on critical care nurses», *Heliyon*, vol. 8, n.º 2, p. e08929, feb. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e08929.

ANEXOS

Anexo A. Encuesta estudiantil

1. ¿Considera que el acceso físico a las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) reales para prácticas de reconocimiento es suficiente durante su formación?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

2. ¿Cree que contar con una simulación virtual que replique la distribución real de una UCI facilitaría su adaptación previa a las prácticas hospitalarias?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

3. ¿Considera difícil memorizar la ubicación y los nombres técnicos de todos los equipos médicos (ventiladores, monitores, etc.) solo con clases teóricas? Totalmente en desacuerdo

- En desacuerdo
- Neutral

- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

4. ¿Le resultaría útil disponer de una herramienta digital que le permita visualizar las funciones de cada equipo clínico de forma interactiva?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

5. ¿Cree que el uso de tecnologías inmersivas (Realidad Virtual) es una metodología innovadora que debería incorporarse como un recurso de apoyo didáctico en la carrera de Enfermería?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

6. ¿Considera que la falta de familiarización previa con el mobiliario de una UCI genera estrés o incertidumbre antes de iniciar una rotación real?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral

- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

7. ¿Estaría dispuesto a utilizar un entorno virtual fuera del horario de clases para reforzar su capacidad de identificar insumos y equipos críticos?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

8. ¿Considera que una representación visual en 3D es más efectiva para el aprendizaje que el uso de manuales o fotografías planas?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

Anexo B. Entrevista a docente

Objetivo: Identificar las brechas pedagógicas en la enseñanza de áreas críticas y valorar la necesidad de implementar soluciones de Realidad Virtual en la carrera de Enfermería.

1. ¿Qué metodologías o herramientas tecnológicas utiliza actualmente para que los estudiantes se familiaricen con el equipamiento de una UCI antes de sus prácticas reales?

2. ¿Cuáles considera que son las principales dificultades que enfrentan los estudiantes al intentar reconocer la disposición espacial y técnica de una unidad crítica real debido a las restricciones hospitalarias?

3. ¿Qué tan crítico es que un estudiante logre diferenciar visualmente los activos clínicos y el mobiliario especializado antes de manipularlos físicamente?

4. En su opinión, ¿qué deficiencias ha observado en los estudiantes al momento de identificar nombres y funciones específicas de la instrumentación biomédica compleja?

5. ¿Cree que la falta de un entorno de simulación previo contribuye al estrés o a la desorientación de los alumnos en sus primeras rotaciones por cuidados intensivos?

6. ¿Qué tan importante considera que los recursos educativos garanticen que la información técnica (manuales, etiquetas, funciones) sea precisa y esté protegida contra alteraciones?

7. ¿Qué tan necesaria considera la creación e integración de simuladores virtuales de la Sala UCI para modernizar la malla curricular y mejorar la preparación de los futuros enfermeros de la UTA?

Anexo C. Cuestionario de escala de usabilidad del sistema

Instrucciones: A continuación, se presentan diversas afirmaciones relacionadas con su experiencia de uso del sistema inmersivo de la Sala de Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). Por favor, seleccione una única opción por cada ítem según su nivel de acuerdo, utilizando la siguiente escala:

1 = Totalmente en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Neutral

4 = De acuerdo

5 = Totalmente de acuerdo

1. Creo que me gustaría usar este sistema de la Sala UCI con frecuencia.

[1] [2] [3] [4] [5]

2. Encontré que el sistema es innecesariamente complejo.

[1] [2] [3] [4] [5]

3. Considero que el sistema de la Sala UCI es fácil de utilizar.

[1] [2] [3] [4] [5]

4. Creo que necesitaría el apoyo de un técnico o tutor para poder utilizar este sistema.

[1] [2] [3] [4] [5]

5. Encuentro que las diversas funciones del sistema están muy bien integradas.

[1] [2] [3] [4] [5]

6. Me pareció que el sistema de la Sala UCI presentaba demasiadas inconsistencias.

[1] [2] [3] [4] [5]

7. Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar este sistema muy rápidamente.

[1] [2] [3] [4] [5]

8. Me pareció que el sistema de la sala UCI es muy difícil de manejar.

[1] [2] [3] [4] [5]

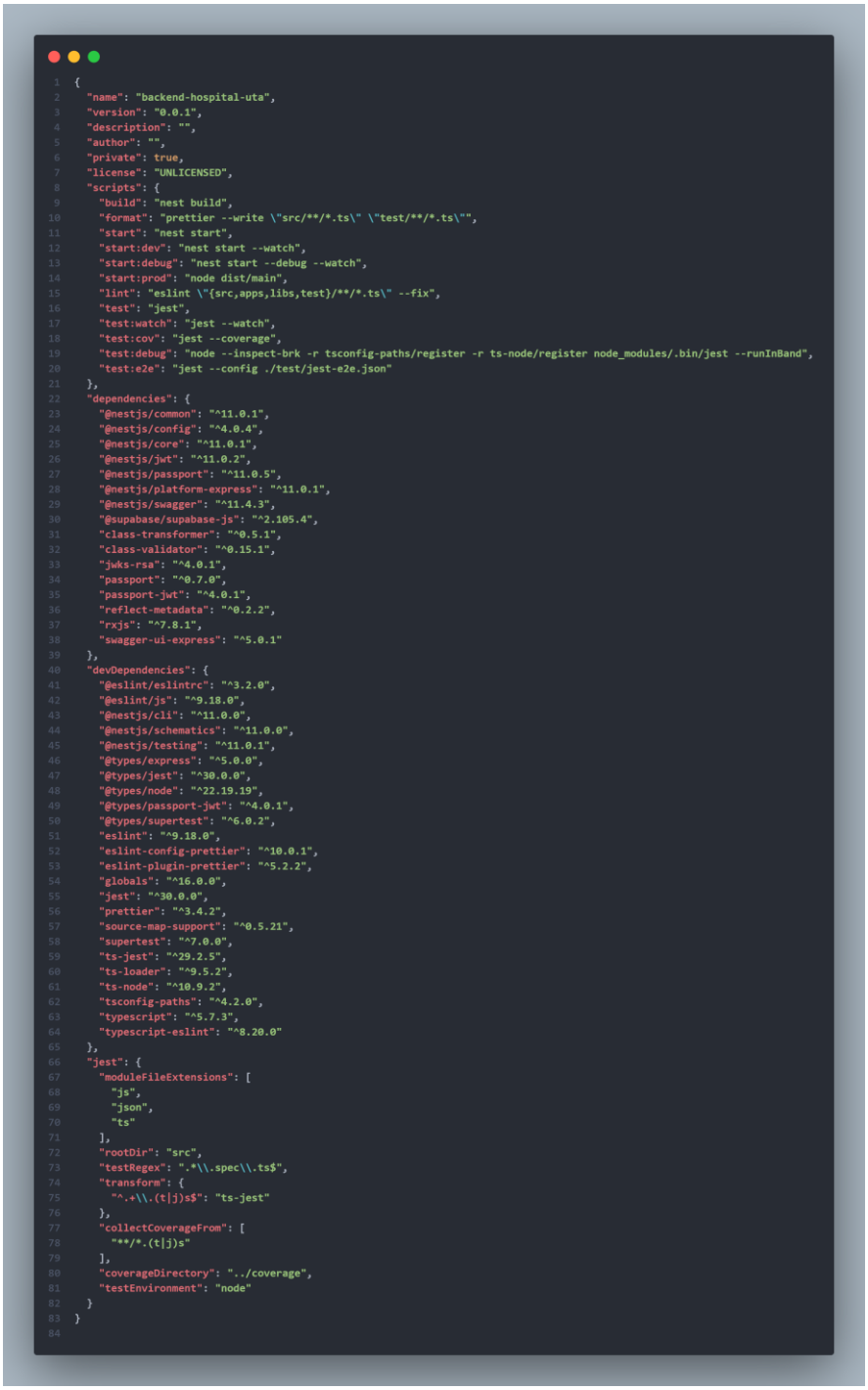
9. Me sentí muy seguro y confiado al interactuar con el entorno virtual.

[1] [2] [3] [4] [5]

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

[1] [2] [3] [4] [5]

Anexo D. Archivo package.json con las dependencias de la API REST



```json
{
  "name": "backend-hospital-uta",
  "version": "0.0.1",
  "description": "",
  "author": "",
  "private": true,
  "license": "UNLICENSED",
  "scripts": {
    "build": "nest build",
    "format": "prettier --write \"src/**/*.ts\" \"test/**/*.ts\"",
    "start": "nest start",
    "start:dev": "nest start --watch",
    "start:debug": "nest start --debug --watch",
    "start:prod": "node dist/main",
    "lint": "eslint \"{src,apps,libs,test}/**/*.ts\" --fix",
    "test": "jest",
    "test:watch": "jest --watch",
    "test:cov": "jest --coverage",
    "test:debug": "node --inspect-brk -r tsconfig-paths/register -r ts-node/register node_modules/.bin/jest --runInBand",
    "test:e2e": "jest --config ./test/jest-e2e.json"
  },
  "dependencies": {
    "@nestjs/common": "^11.0.1",
    "@nestjs/config": "^4.0.4",
    "@nestjs/core": "^11.0.1",
    "@nestjs/jwt": "^11.0.2",
    "@nestjs/passport": "^11.0.5",
    "@nestjs/platform-express": "^11.0.1",
    "@nestjs/swagger": "^11.4.3",
    "@supabase/supabase-js": "^2.105.4",
    "class-transformer": "^0.5.1",
    "class-validator": "^0.15.1",
    "jwks-rsa": "^4.0.1",
    "passport": "^0.7.0",
    "passport-jwt": "^4.0.1",
    "reflect-metadata": "^0.2.2",
    "rxjs": "^7.8.1",
    "swagger-ui-express": "^5.0.1"
  },
  "devDependencies": {
    "@eslint/eslintrc": "^3.2.0",
    "@eslint/js": "^9.18.0",
    "@nestjs/cli": "^11.0.0",
    "@nestjs/schematics": "^11.0.0",
    "@nestjs/testing": "^11.0.1",
    "@types/express": "^5.0.0",
    "@types/jest": "^30.0.0",
    "@types/node": "^22.19.19",
    "@types/passport-jwt": "^4.0.1",
    "@types/supertest": "^6.0.2",
    "eslint": "^9.18.0",
    "eslint-config-prettier": "^10.0.1",
    "eslint-plugin-prettier": "^5.2.2",
    "globals": "^16.0.0",
    "jest": "^30.0.0",
    "prettier": "^3.4.2",
    "source-map-support": "^0.5.21",
    "supertest": "^7.0.0",
    "ts-jest": "^29.2.5",
    "ts-loader": "^9.5.2",
    "ts-node": "^10.9.2",
    "tsconfig-paths": "^4.2.0",
    "typescript": "^5.7.3",
    "typescript-eslint": "^8.20.0"
  },
  "jest": {
    "moduleFileExtensions": [
      "js",
      "json",
      "ts"
    ],
    "rootDir": "src",
    "testRegex": ".*\\.spec\\.ts$",
    "transform": {
      "^.+\\.(t|j)s$": "ts-jest"
    },
    "collectCoverageFrom": [
      "**/*.(t|j)s"
    ],
    "coverageDirectory": "../coverage",
    "testEnvironment": "node"
  }
}
```

Figura 76 Archivo package.json con las dependencias de la API REST

Anexo E. Archivo de configuración .env de la API REST

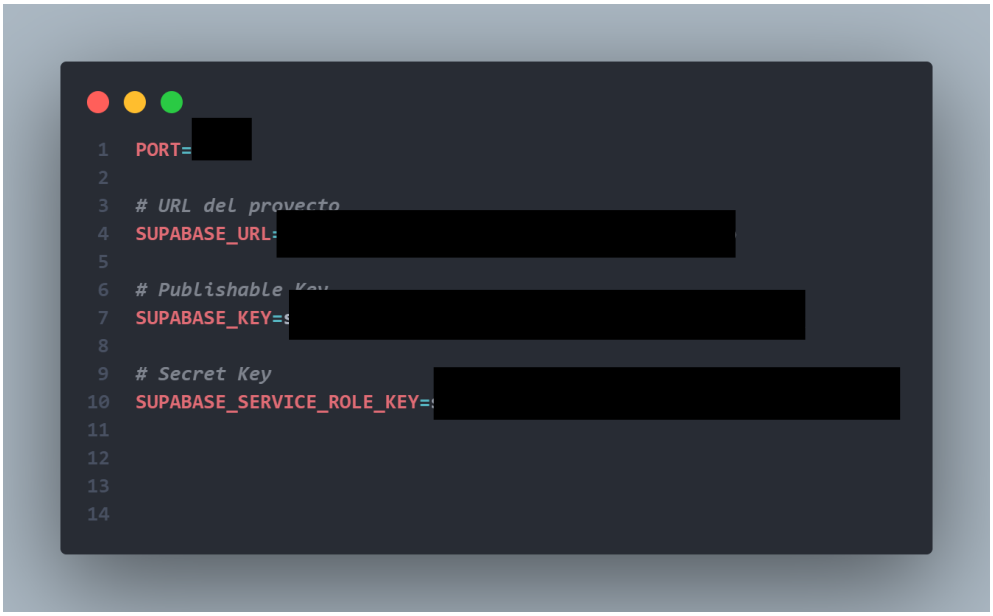


Figura 77. Archivo de configuración .env de la API REST

Anexo F. Seguridad de la API REST



```
import { Injectable, UnauthorizedException } from '@nestjs/common';
import { PassportStrategy, AuthGuard } from '@nestjs/passport';
import { ExtractJwt, Strategy } from 'passport-jwt';
import { passportJwtSecret } from 'jwks-rsa';

@Injectable()
export class JwtStrategy extends PassportStrategy(Strategy) {
  constructor() {
    super({
      jwtFromRequest: ExtractJwt.fromAuthHeaderAsBearerToken(),
      ignoreExpiration: false,
      secretOrKeyProvider: passportJwtSecret({
        cache: true,
        rateLimit: true,
        jwksRequestsPerMinute: 5,
        jwksUri: `${process.env.SUPABASE_URL}/auth/v1/.well-known/jwks.json`,
      }),
      algorithms: ['ES256'],
    });
  }

  async validate(payload: any) {
    if (!payload) {
      throw new UnauthorizedException('Token inválido o vacío');
    }
    return {
      userId: payload.sub,
      email: payload.email,
      role: payload.user_metadata?.rol_id || payload.role
    };
  }
}

// 2. EL GUARD
@Injectable()
export class JwtAuthGuard extends AuthGuard('jwt') {}
```

Figura 78. Seguridad de la API REST

Anexo G. Validación de datos de la API REST



```
import { ApiProperty } from '@nestjs/swagger';
import { IsEmail, IsNotEmpty, MinLength } from 'class-validator';

export class LoginDto {
  @ApiProperty({ example: 'gmedina3108@uta.edu.ec' })
  @IsEmail({}, { message: 'Debe ser un correo institucional válido' })
  email!: string;

  @ApiProperty({ example: '********' })
  @IsNotEmpty()
  @MinLength(6, { message: 'La contraseña debe tener al menos 6 caracteres' })
  password!: string;
}
```

Figura 79. Validación de datos de la API REST

Anexo H. Envió de correo electrónico



```
async forgotPassword(email: string) {
        const { error } = await this.supabase.auth.resetPasswordForEmail(email, {
            redirectTo: 'http://localhost:5173/reset-password',
        });

        if (error) throw new BadRequestException(error.message);

        return { message: 'Se ha enviado un enlace de recuperación a tu correo.' };
    }
```

Figura 80. Envió de correo electrónico

Anexo I. Ejemplo de módulo de la API REST

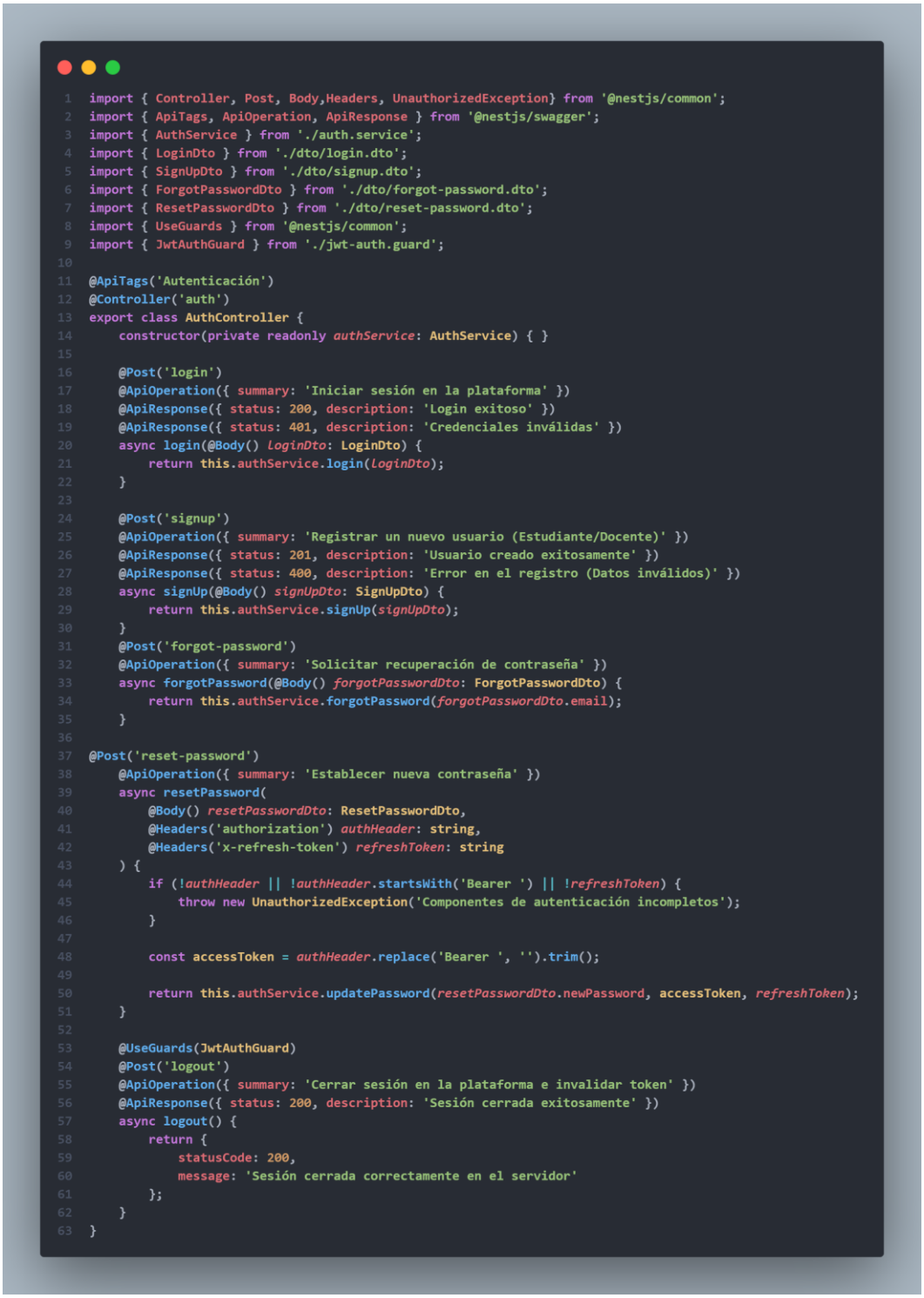


```
import { Module } from '@nestjs/common';
import { PassportModule } from '@nestjs/passport';
import { AuthService } from './auth.service';
import { AuthController } from './auth.controller';
import { JwtStrategy, JwtAuthGuard } from './jwt-auth.guard';

@Module({
  imports: [PassportModule],
  providers: [AuthService, JwtStrategy, JwtAuthGuard],
  controllers: [AuthController],
  exports: [AuthService, JwtAuthGuard],
})
export class AuthModule {}
```

Figura 81. Ejemplo de módulo de la API REST

Anexo J. Ejemplo de controlador de la API REST



```typescript
import { Controller, Post, Body,Headers, UnauthorizedException} from '@nestjs/common';
import { ApiTags, ApiOperation, ApiResponse } from '@nestjs/swagger';
import { AuthService } from './auth.service';
import { LoginDto } from './dto/login.dto';
import { SignUpDto } from './dto/signup.dto';
import { ForgotPasswordDto } from './dto/forgot-password.dto';
import { ResetPasswordDto } from './dto/reset-password.dto';
import { UseGuards } from '@nestjs/common';
import { JwtAuthGuard } from './jwt-auth.guard';

@ApiTags('Autenticación')
@Controller('auth')
export class AuthController {
    constructor(private readonly authService: AuthService) { }

    @Post('login')
    @ApiOperation({ summary: 'Iniciar sesión en la plataforma' })
    @ApiResponse({ status: 200, description: 'Login exitoso' })
    @ApiResponse({ status: 401, description: 'Credenciales inválidas' })
    async login(@Body() loginDto: LoginDto) {
        return this.authService.login(loginDto);
    }

    @Post('signup')
    @ApiOperation({ summary: 'Registrar un nuevo usuario (Estudiante/Docente)' })
    @ApiResponse({ status: 201, description: 'Usuario creado exitosamente' })
    @ApiResponse({ status: 400, description: 'Error en el registro (Datos inválidos)' })
    async signUp(@Body() signUpDto: SignUpDto) {
        return this.authService.signUp(signUpDto);
    }
    @Post('forgot-password')
    @ApiOperation({ summary: 'Solicitar recuperación de contraseña' })
    async forgotPassword(@Body() forgotPasswordDto: ForgotPasswordDto) {
        return this.authService.forgotPassword(forgotPasswordDto.email);
    }

@Post('reset-password')
    @ApiOperation({ summary: 'Establecer nueva contraseña' })
    async resetPassword(
        @Body() resetPasswordDto: ResetPasswordDto,
        @Headers('authorization') authHeader: string,
        @Headers('x-refresh-token') refreshToken: string
    ) {
        if (!authHeader || !authHeader.startsWith('Bearer ') || !refreshToken) {
            throw new UnauthorizedException('Componentes de autenticación incompletos');
        }

        const accessToken = authHeader.replace('Bearer ', '').trim();

        return this.authService.updatePassword(resetPasswordDto.newPassword, accessToken, refreshToken);
    }

    @UseGuards(JwtAuthGuard)
    @Post('logout')
    @ApiOperation({ summary: 'Cerrar sesión en la plataforma e invalidar token' })
    @ApiResponse({ status: 200, description: 'Sesión cerrada exitosamente' })
    async logout() {
        return {
            statusCode: 200,
            message: 'Sesión cerrada correctamente en el servidor'
        };
    }
}
```

Figura 82. Ejemplo de controlador de la API REST

Anexo K. Ejemplo de servicio de la API REST



```
import { Injectable, BadRequestException, NotFoundException } from '@nestjs/common';
import { createClient, SupabaseClient } from '@supabase/supabase-js';
import { CreateSalaDto } from './dto/create-sala.dto';
import { CreateEquipoDto } from './dto/create-equipo.dto';

@Injectable()
export class UciService {
  private supabase: SupabaseClient;

  constructor() {
    this.supabase = createClient(
      process.env.SUPABASE_URL as string,
      process.env.SUPABASE_SERVICE_ROLE_KEY as string,
    );
  }

  async crearSala(dto: CreateSalaDto) {
    const { data, error } = await this.supabase.from('salas').insert([dto]).select();
    if (error) throw new BadRequestException(error.message);
    return data[0];
  }

  async obtenerSalas() {
    const { data, error } = await this.supabase.from('salas').select('*').order('id', { ascending: true });
    if (error) throw new BadRequestException(error.message);
    return data;
  }

  async eliminarSala(id: number) {
    const { error } = await this.supabase.from('salas').delete().eq('id', id);
    if (error) throw new BadRequestException(error.message);
    return { message: 'Sala y sus equipos asociados eliminados con éxito' };
  }

  async obtenerTodosLosEquipos() {
    const { data, error } = await this.supabase
      .from('equipos_medicos')
      .select('*, salas ( nombre )');

    if (error) throw new BadRequestException(error.message);
    return data;
  }

  async obtenerEquipoPorTag(tag: string) {
    const { data, error } = await this.supabase
      .from('equipos_medicos')
      .select('nombre, descripcion')
      .eq('unity_tag', tag)
      .single();

    if (error || !data) throw new NotFoundException('El equipo médico no se encuentra catalogado en el hospital virtual');
    return data;
  }

  async guardarOActualizarEquipo(dto: CreateEquipoDto, usuarioId: string) {
    const { data, error } = await this.supabase
      .from('equipos_medicos')
      .upsert({
        sala_id: dto.sala_id,
        unity_tag: dto.unity_tag,
        nombre: dto.nombre,
        descripcion: dto.descripcion,
        creado_por: usuarioId,
      }, { onConflict: 'unity_tag' })
      .select();

    if (error) throw new BadRequestException(error.message);
    return data[0];
  }

  async eliminarEquipo(id: number) {
    const { error } = await this.supabase.from('equipos_medicos').delete().eq('id', id);
    if (error) throw new BadRequestException(error.message);
    return { message: 'Equipo médico removido del catálogo' };
  }
}
```

Figura 83. Ejemplo de servicio de la API REST

Anexo L. Ejemplo de DTO de la API REST



```typescript
import { IsNotEmpty, IsNumber, IsString } from 'class-validator';

export class CreateEquipoDto {
  @IsNumber()
  @IsNotEmpty()
  sala_id!: number; // ID de la sala a la que pertenece

  @IsString()
  @IsNotEmpty()
  unity_tag!: string; // Match exacto con GameObject.name en Unity

  @IsString()
  @IsNotEmpty()
  nombre!: string;

  @IsString()
  @IsNotEmpty()
  descripcion!: string;
}
```

Figura 84. Ejemplo de DTO de la API REST

Anexo M. Dependencias de la plataforma web



```json
{
  "name": "hospital",
  "private": true,
  "version": "0.0.0",
  "type": "module",
  "scripts": {
    "dev": "vite",
    "build": "tsc -b && vite build",
    "lint": "eslint .",
    "preview": "vite preview"
  },
  "dependencies": {
    "@fontsource-variable/geist": "^5.2.8",
    "@tailwindcss/vite": "^4.3.0",
    "class-variance-authority": "^0.7.1",
    "clsx": "^2.1.1",
    "lucide-react": "^1.14.0",
    "radix-ui": "^1.4.3",
    "react": "^19.2.5",
    "react-dom": "^19.2.5",
    "react-router-dom": "^7.15.0",
    "shadcn": "^4.7.0",
    "sonner": "^2.0.7",
    "tailwind-merge": "^3.6.0",
    "tailwindcss": "^4.3.0",
    "tw-animate-css": "^1.4.0"
  },
  "devDependencies": {
    "@eslint/js": "^10.0.1",
    "@types/node": "^24.12.3",
    "@types/react": "^19.2.14",
    "@types/react-dom": "^19.2.3",
    "@vitejs/plugin-react": "^6.0.1",
    "eslint": "^10.2.1",
    "eslint-plugin-react-hooks": "^7.1.1",
    "eslint-plugin-react-refresh": "^0.5.2",
    "globals": "^17.5.0",
    "typescript": "~6.0.2",
    "typescript-eslint": "^8.58.2",
    "vite": "^8.0.10"
  }
}
```

Figura 85. Dependencias de la plataforma web

Anexo N. Rutas de la plataforma web



```jsx
import { BrowserRouter, Routes, Route, Navigate } from 'react-router-dom';
import SignInPage from '@/modules/auth/SignInPage';
import SignUpPage from '@/modules/auth/SignUpPage';
import ForgotPasswordPage from '@/modules/auth/ForgotPasswordPage';
import ResetPasswordPage from '@/modules/auth/ResetPasswordPage';

// Importación de las nuevas vistas modularizadas
import HomeLayout from './layout/HomeLayout';
import { StudentsView } from './modules/students/StudentsView';
import { RoomsView } from './modules/rooms/RoomsView';
import { EquipmentView } from './modules/rooms/EquipmentView';
import { Toaster } from 'sonner';
import ProtectedRoute from '@/components/routes/ProtectedRoute';
import { ConfigView } from './modules/admin/ConfigView';

function App() {
  return (
    <BrowserRouter>
      <Routes>
        {/* Rutas Públicas */}
        <Route path="/" element={<Navigate to="/signin" replace />} />
        <Route path="/signin" element={<SignInPage />} />
        <Route path="/signup" element={<SignUpPage />} />
        <Route path="/forgot-password" element={<ForgotPasswordPage />} />
        <Route path="/reset-password" element={<ResetPasswordPage />} />

        {/* ========================================================= */}
        {/* RUTAS PROTEGIDAS ANIDADAS CON PREFIJO /DASHBOARD          */}
        {/* ========================================================= */}
        <Route element={<ProtectedRoute allowedRoles={['ADMIN', 'DOCENTE']} />}>
          <Route path="/dashboard" element={<HomeLayout />}>
            {/* Si entra a /dashboard seco, redirige por defecto a students */}
            <Route index element={<Navigate to="students" replace />} />

            {/* Rutas Hijas Reales */}
            <Route path="students" element={<StudentsView />} />
            <Route path="rooms" element={<RoomsView />} />
            <Route path="equipment" element={<EquipmentView />} />
            <Route path="settings" element={<ConfigView />} />
          </Route>
        </Route>

        {/* Simulador Estudiantes */}
        <Route element={<ProtectedRoute allowedRoles={['ESTUDIANTE']} />}>
          <Route path="/simulador" element={
            <div className="min-h-screen bg-[#0b1d33] text-white flex flex-col items-center justify-center p-6">
              <h1 className="text-3xl font-black text-[#c29b38] mb-2">ENTORNO DE SIMULACIÓN CLÍNICA</h1>
              <p className="text-slate-300 text-sm">Cargando módulos de Realidad Virtual para Enfermería...</p>
            </div>
          } />
        </Route>

        {/* 404 Control */}
        <Route path="*" element={
          <div className="min-h-screen bg-[#0b1d33] flex flex-col items-center justify-center text-white font-bold">
            <h2 className="text-4xl text-red-500 mb-2">404</h2>
            <p className="text-lg text-slate-400">Recurso institucional no encontrado</p>
          </div>
        } />
      </Routes>
      <Toaster richColors position="top-center" closeButton />
    </BrowserRouter>
  );
}

export default App;
```

Figura 86. Rutas de la plataforma web

Anexo O. Script login VR en C#

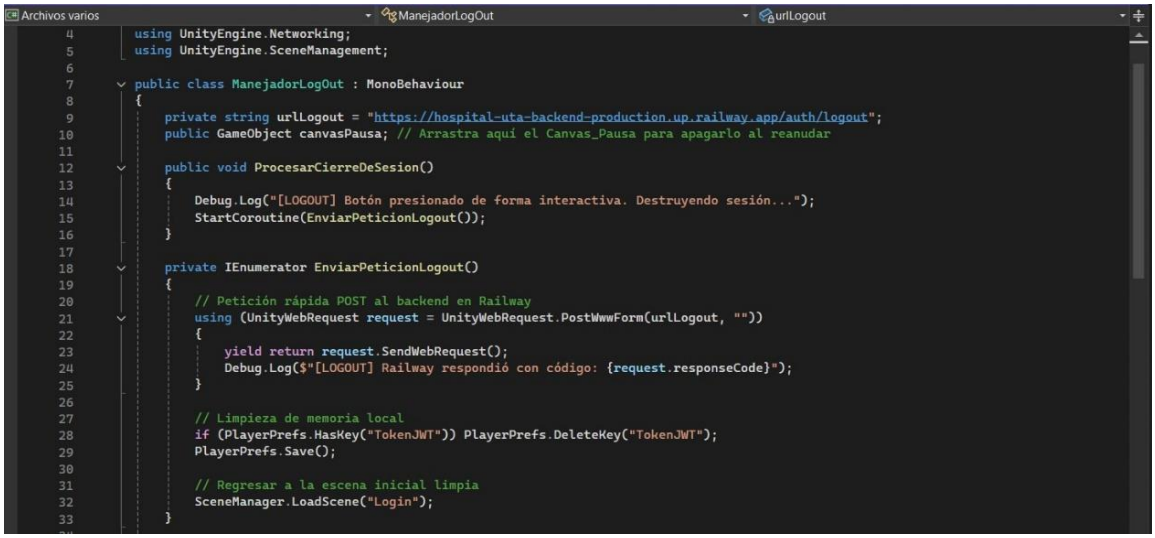


Figura 87. Script login VR en C#

Anexo P. Script Interacción equipos biomédicos en C#

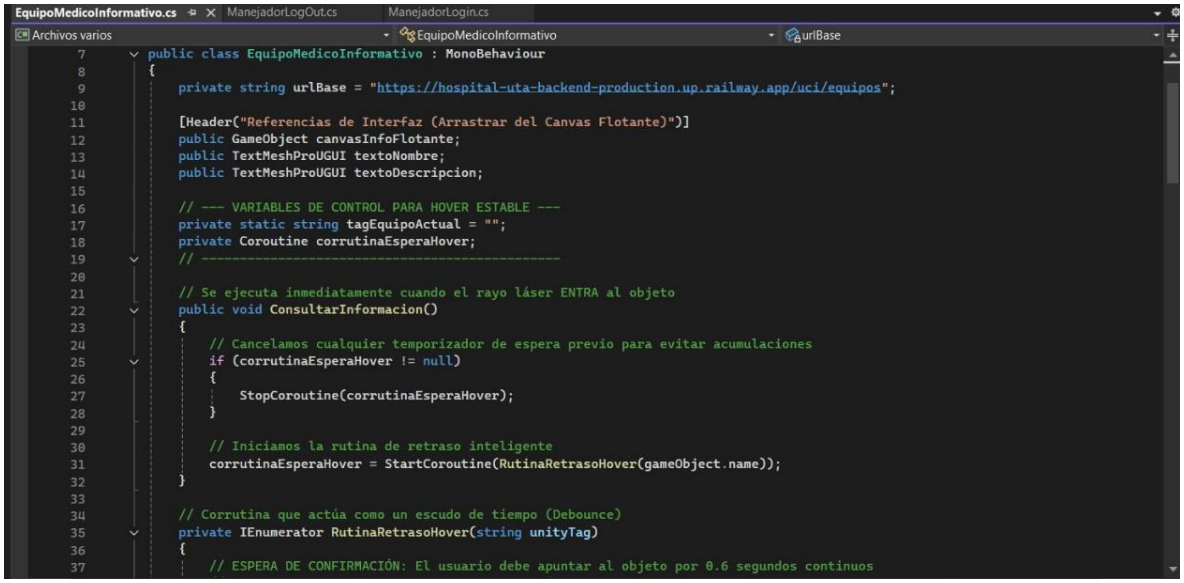


Figura 88. Script Interacción equipos biomédicos en C#

Anexo Q. Script menú pausa en C#

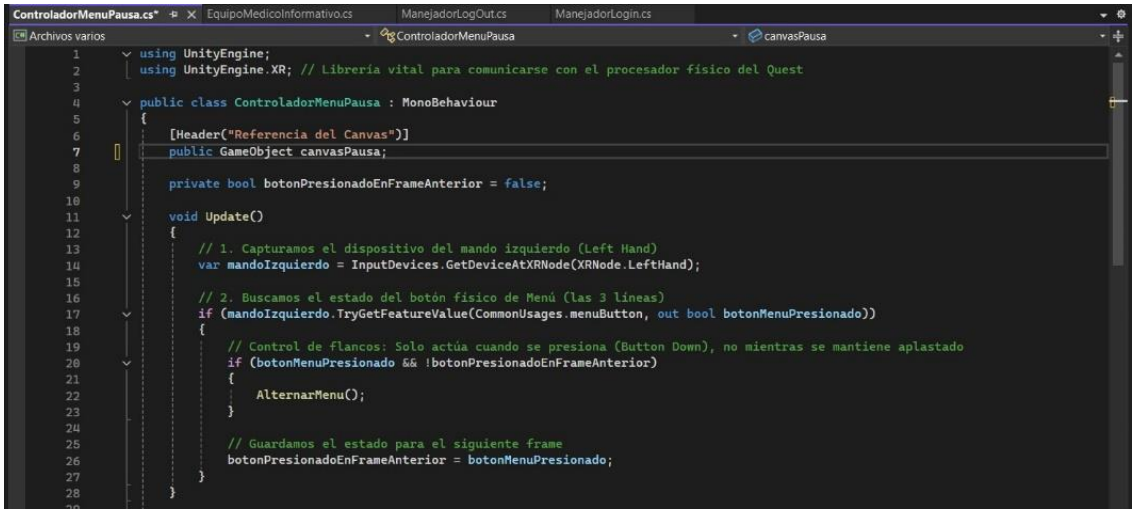


Figura 89. Script menú pausa en C#

Anexo R. Script detector de puerta UCI en C#

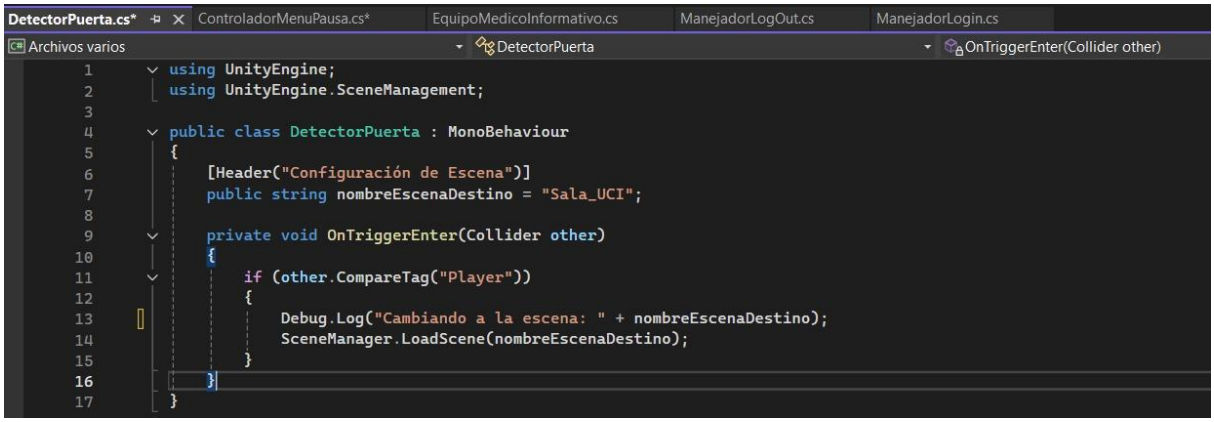


Figura 90. Script detector de puerta UCI en C#

Anexo S. Script de cerrar sesión en C#

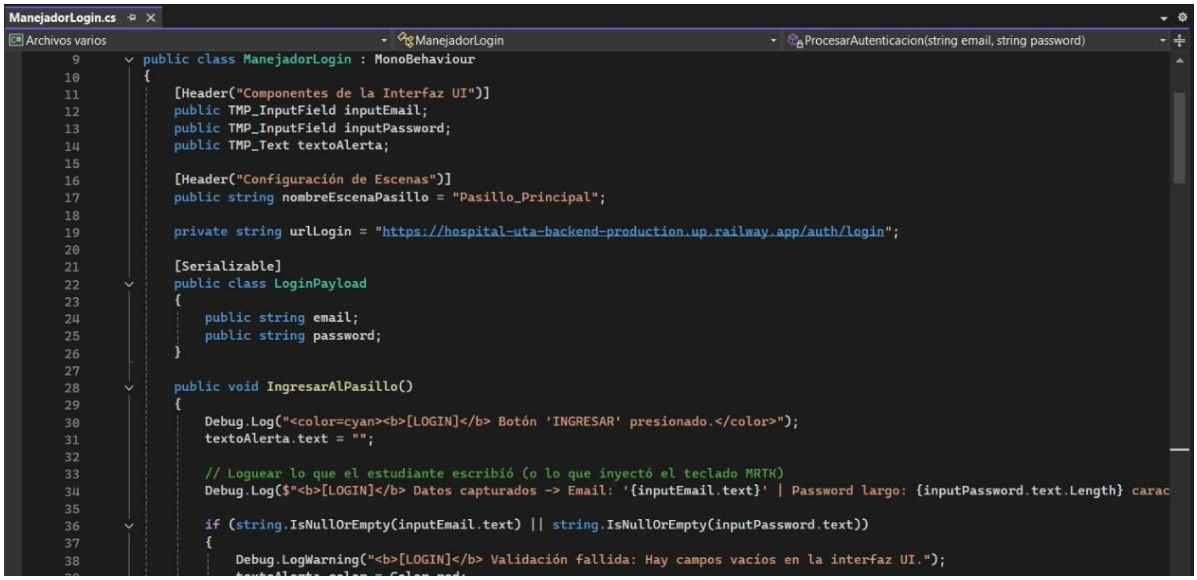


Figura 91. Script de cerrar sesión en C#

Anexo T. Manual de usuario

APLICACIÓN CON ENTORNO VIRTUAL INMERSIVO PARA LA SIMULACIÓN DE UNA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (UCI) COMO APOYO AL PROCESO DE ENSEÑANZA EN LA CARRERA DE ENFERMERÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

Introducción

El presente manual tiene como objetivo fundamental orientar de forma didáctica e instruccional a los usuarios de la carrera de Enfermería de la Universidad Técnica de Ambato en el uso adecuado del ecosistema digital desarrollado. En este documento se describe el funcionamiento global del software, las mecánicas de interacción tridimensional en Realidad Virtual (VR) y los flujos de gestión de la plataforma web.

La aplicación permite explorar una simulación interactiva de una sala de Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). A través de este entorno virtual, el usuario podrá identificar el mobiliario clínico básico, reconocer los equipos biomédicos de soporte vital y comprender su disposición espacial y parámetros técnicos mediante escenarios interactivos, sirviendo como un entorno seguro de autoaprendizaje previo a sus prácticas hospitalarias reales.

Requisitos del Sistema

- **Entorno Inmersivo**

  Hardware Soportado: Visor autónomo Meta Quest 3 / Meta Quest 3S.

  Periféricos Incluidos: Dos controladores de movimiento inalámbricos con joysticks analógicos (Izquierdo y Derecho).

- **Plataforma Web Administrativa**

  Estación de Trabajo / Computador: Procesador Intel Core i3 / AMD Ryzen 3 o superior.

  Memoria RAM Mínima: 8 GB.

Sistema Operativo: Windows 10 o superior, o macOS 11 en adelante.

Navegador Web Recomendado: Google Chrome, Mozilla Firefox o Microsoft Edge con soporte para estándares HTML5.

Conectividad Física: Cable USB Tipo-C de alta velocidad.

Controles y Navegación en Realidad Virtual



Joystick Analógico Izquierdo: Permite avanzar, retroceder y desplazarse hacia los lados dentro del pasillo de acceso y el cubículo de la sala UCI virtual.

Joystick Analógico Derecho: Gira la orientación de la vista de la cámara hacia la izquierda o derecha en ángulos fijos sin necesidad de rotar el cuerpo físicamente, mitigando los efectos de la cinetosis.

Interacción con Objetos y Equipos



Botón Trigger (Gatillo) Derecho o Izquierdo: Se utiliza para seleccionar elementos interactivos, presionar los botones del teclado virtual y activar objetos dentro de la simulación. Basta con apuntar el rayo de selección y oprimir el gatillo.

Botones de



Botón X (controlador izquierdo)

Botón A (controlador derecho)

Botón para salir al Panel Principal de Aplicaciones de las Gafas Meta Quest 3s

Salir de Sesión / Pasar Simulación



Al presionar el botón de menú del se habilita una ventana flotante emergente que le permite al usuario dar por finalizada la simulación clínica activa y salir de la sesión de manera segura.

Recomendaciones de Navegación Ergonómica

Si siente mareo o desorientación durante el desplazamiento virtual por la sala UCI, realice una pausa activa inmediata.

Mantenga su espacio físico real completamente despejado de obstáculos para evitar choques con objetos reales mientras usa el visor.

Inicio de Sesión en Realidad Virtual (Hospital Virtual UTA)

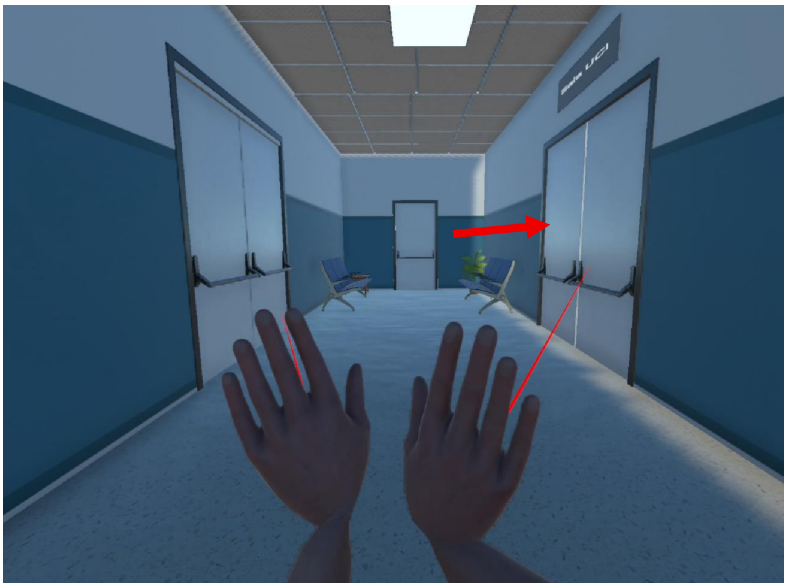


Campo "Correo Electrónico" (Recuadro Rojo Superior): Cuadro de texto interactivo destinado a capturar la dirección institucional del usuario (marcado con el marcador de posición estudiante@uta.edu.ec). Se activa apuntando con el puntero láser y presionando el gatillo para introducir los caracteres.

Campo "Contraseña" (Recuadro Rojo Inferior): Cuadro de texto de tipo seguro que oculta los caracteres ingresados mediante un formato de enmascaramiento para proteger la clave secreta del usuario dentro del entorno virtual.

Botón "Ingresar" (Recuadro Verde): Componente de acción ubicado en la parte inferior del panel. Al ser seleccionado con el rayo de interacción y presionar el gatillo, procesa la verificación de las credenciales para dar paso al entorno de simulación.

Transición de Pasillo de Principal a la Sala UCI



Navegación por el Pasillo: El usuario debe interactuar de forma combinada con los joysticks analógicos de sus controladores para desplazarse físicamente (avanzar, retroceder o girar la vista) a lo largo del pasillo virtual.

Puerta de la Sala UCI (Señalada con la Flecha Roja): Al avanzar por el pasillo, el usuario debe dirigirse hacia el acceso lateral derecho, donde se encuentra la puerta de doble hoja que conecta directamente con la UCI, identificada en la simulación para dar inicio formal a la práctica clínica inmersiva.

Interacción con Equipos Biomédicos y Fichas Técnicas



Identificación de Equipos Clínicos (Señalados con la Flecha Roja): Al ingresar a la sala de la UCI, el usuario visualizará indicadores tridimensionales flotantes que actúan como guías visuales sobre cada uno de los componentes del inventario biomédico disponibles para la práctica formativa.

Interacción Informativa y Disparo de Rayos (Raycast): El usuario debe levantar el controlador físico de su visor autónomo y apuntar de manera directa hacia el chasis o la malla estructural del equipo clínico de su interés. El sistema proyectará de forma inmediata un puntero láser interactivo (Raycaster) que servirá como guía de selección y enfoque en el espacio virtual.

Despliegue de la Ficha Técnica Descriptiva: Al colisionar de forma efectiva el rayo selector con el volumen del activo médico, el simulador gatillará la aparición automática de un lienzo flotante (Canvas World Space). El estudiante debe mantener el apuntador sobre el objeto para realizar la lectura inmersiva de los metadatos didácticos, los cuales detallan el nombre técnico, las variables operacionales y la función clínica del equipo dentro de la unidad de cuidados críticos. La interfaz se ocultará de manera automática en cuanto el usuario desvíe el puntero láser hacia un espacio vacío de la sala, limpiando el campo visual para continuar con la exploración.

Ejemplo Práctico de Interacción con Activos



Enfoque y Selección del Activo Clínico: Como caso de aplicación práctica del sistema de interacción inmersiva, el usuario debe aproximarse al mobiliario principal del cubículo. Al levantar el controlador físico, la mano virtual del avatar proyectará un rayo selector blanco (Raycast), el cual debe dirigirse y colisionar de manera directa contra la estructura física del objeto.

Lectura de Metadatos Didácticos: Al detectar la colisión del apuntador con la malla tridimensional de la **Cama Clínica**, el simulador despliega de forma inmediata una interfaz flotante de color azul (Canvas World Space). Este panel interactivo presenta de manera clara los siguientes datos informativos para el estudiante de Enfermería:

- **Identificador Técnico:** Título destacado en la parte superior que nombra el activo evaluado (Cama Clínica).
- **Descripción Funcional:** Bloque de texto descriptivo que detalla su naturaleza como dispositivo mobiliario especializado, sus capacidades de articulación y regulación de altura, las posiciones terapéuticas esenciales para facilitar la ventilación del paciente y los mecanismos de seguridad integrados (como barandillas y cabeceros desmontables).

Cierre de la Interfaz Informativa: Para limpiar el campo visual y continuar con el reconocimiento de los demás equipos de la Unidad de Cuidados Intensivos, el operador simplemente debe desviar la trayectoria de su mano virtual, retirando el rayo selector del chasis del equipo, lo que provocará que el lienzo azul se oculte de manera automática.

Este comportamiento de "cierre por desplazamiento" ha sido diseñado bajo principios de ergonomía inmersiva, eliminando la necesidad de comandos físicos adicionales o menús contextuales de salida que podrían fragmentar la experiencia del estudiante. Al integrar una respuesta de ocultamiento inmediata, el sistema minimiza la fatiga cognitiva y visual, permitiendo que el usuario mantenga su inmersión clínica ininterrumpida. De este modo, la interacción no se percibe como una serie de clics aislados, sino como un proceso continuo donde la gestión de la información técnica se ajusta dinámicamente a los movimientos y al ritmo de exploración del estudiante,

garantizando así una interacción limpia, eficiente y libre de distracciones dentro del escenario virtual.

Menú de Pausa y Cierre de Sesión en Realidad Virtual



Activación del Menú de Pausa: En cualquier momento de la práctica clínica inmersiva, el usuario puede suspender de forma temporal las actividades del simulador presionando el botón físico de menú en su controlador izquierdo. Al ejecutar esta acción, el entorno reduce sutilmente su brillo y despliega en el centro del campo visual el panel flotante con el encabezado "SIMULACIÓN PAUSADA.

Reanudación de la Práctica Clínica (Señalado con el Recuadro Azul): Si el estudiante o docente desea regresar al entorno interactivo de la UCI para continuar con el entrenamiento, debe apuntar con el puntero láser (Raycaster) de su controlador hacia el botón interactivo de color verde etiquetado como "Reanudar", el cual se destaca en la guía visual mediante un recuadro azul. Al presionar el gatillo de selección del mando, el menú se ocultará inmediatamente, devolviendo el control total de movimiento y reactivando las físicas del sistema.

Finalización de la Simulación (Señalado con el Recuadro Rojo): Para dar por concluida la sesión de aprendizaje de forma segura y controlada, el usuario debe dirigir el puntero láser hacia el botón interactivo de color rojo etiquetado como "Cerrar

Sesión", identificado en la ilustración con un recuadro rojo. Al interactuar con este componente mediante el gatillo de su mando, el sistema destruirá los tokens de autenticación activa en el cliente, liberará los recursos gráficos y los modelos cargados en la memoria RAM del visor autónomo, y redireccionará automáticamente la pantalla hacia la interfaz de login inicial del simulador.

Inicio de Sesión en Plataforma Web (Hospital Virtual UTA)



Campo "Correo Institucional" (Recuadro Rojo Superior): Cuadro de texto interactivo diseñado para capturar la dirección de correo electrónico del usuario (mostrando el marcador de posición ejemplo@uta.edu.ec).

Campo "Contraseña" (Recuadro Rojo Inferior): Cuadro de texto de tipo seguro que enmascara los caracteres ingresados mediante puntos para proteger la confidencialidad de la clave de acceso.

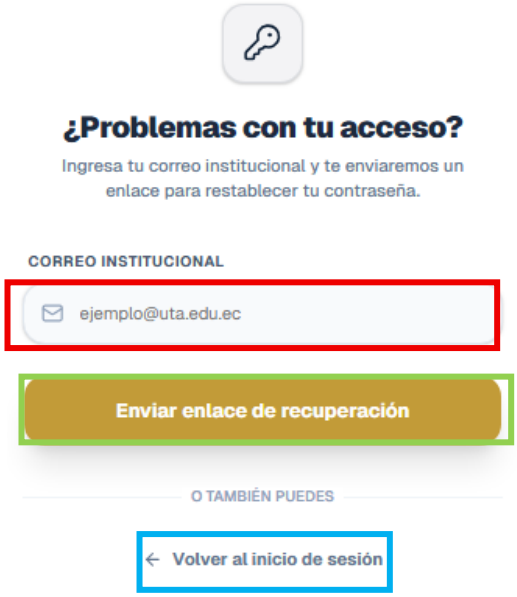
Enlace "¿Olvidaste tu contraseña?" (Recuadro Azul Superior): Link interactivo de redirección que permite al usuario acceder al flujo de recuperación de credenciales y restauración de contraseña mediante un código de verificación.

Botón "ENTRAR" (Recuadro Verde): Componente de acción de alto contraste ubicado en la parte central inferior del formulario. Al hacer clic sobre él, procesa la

verificación de las credenciales para permitir el ingreso al panel de gestión correspondiente.

Enlace "Regístrate aquí" (Recuadro Azul Inferior): Link de acceso ubicado en la base de la pantalla. Permite a los nuevos estudiantes redirigirse hacia el formulario de autorregistro académico para dar de alta su cuenta en el sistema.

Recuperar Contraseña en Plataforma Web (Hospital Virtual UTA)



Campo "Correo Institucional" (Recuadro Rojo): Cuadro de texto interactivo diseñado para capturar la dirección de correo electrónico universitaria del usuario afectado (mostrando el marcador de posición ejemplo@uta.edu.ec).

Botón "Enviar enlace de recuperación" (Recuadro Verde): Componente de acción principal de alto contraste. Al hacer clic sobre él, procesa la solicitud para que el sistema despache de forma automatizada un enlace seguro de restauración hacia la bandeja de entrada del correo ingresado.

Enlace "Volver al inicio de sesión" (Recuadro Azul): Link interactivo de retorno ubicado en la base de la interfaz. Permite al usuario cancelar la acción actual y regresar directamente a la pantalla de login web principal.

Restablecer Contraseña en Plataforma Web (Hospital Virtual UTA)



Campo "NUEVA CONTRASEÑA" (Recuadro Rojo Superior): Cuadro de texto de tipo seguro diseñado para capturar la nueva clave secreta configurada por el usuario (la cual debe contener al menos 6 caracteres), enmascarando el contenido mediante puntos para resguardar la privacidad.

Campo "CONFIRMAR CONTRASEÑA" (Recuadro Rojo Inferior): Cuadro de texto seguro destinado a la reintroducción exacta de la nueva clave con la finalidad de validar localmente que ambos campos coincidan de forma correcta antes del envío.

Botón "Guardar Nueva Contraseña" (Recuadro Verde): Componente de acción principal de alto contraste ubicado en la base de la interfaz. Al hacer clic sobre él, procesa la actualización de la información en el backend para persistir la nueva clave de seguridad en el sistema.

Restablecer Contraseña en Plataforma Web (Hospital Virtual UTA)



Campos "NOMBRES COMPLETOS" y "APELLIDOS COMPLETOS" (Recuadro Rojo Superior): Dos cuadros de texto interactivos diseñados para capturar la identidad legal del usuario (mostrando los marcadores de posición de ejemplo correspondientes).

Campo "CORREO INSTITUTIONAL" (Segundo Recuadro Rojo): Cuadro de texto interactivo destinado a capturar la dirección de correo electrónico universitaria obligatoria para la validación (mostrando el marcador de posición usuario@uta.edu.ec).

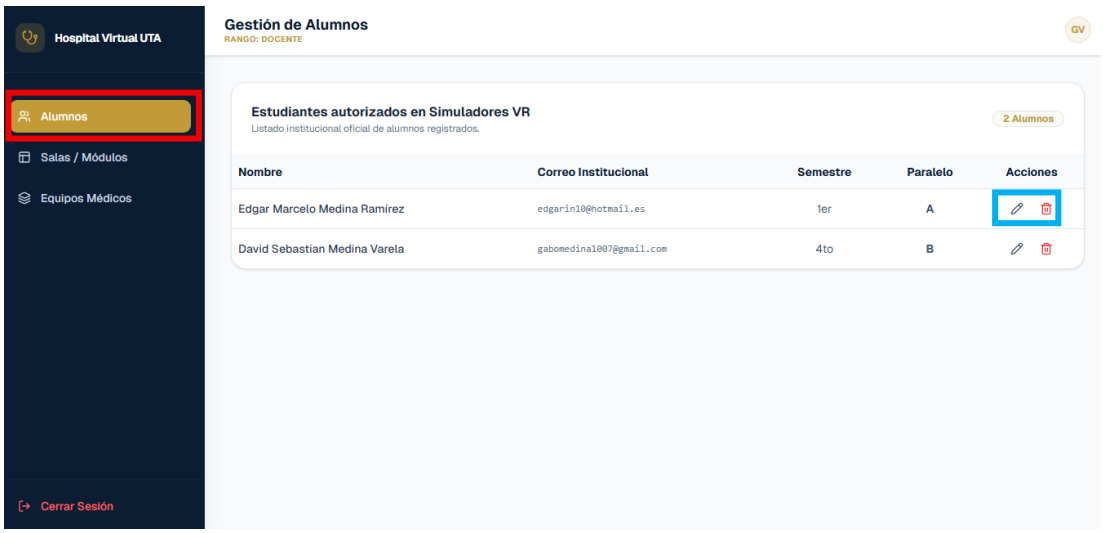
Desplegables "SEMESTRE" y "PARALELO" (Tercer y Cuarto Recuadro Rojo): Listas de selección desplegables ubicadas dentro del bloque de información académica requerida, que permiten al usuario clasificar de forma exacta su nivel y grupo de estudio.

Campo "ESTABLECER CONTRASEÑA" (Quinto Recuadro Rojo): Cuadro de texto de tipo seguro diseñado para capturar la contraseña de acceso deseada (con la indicación de un mínimo de 6 caracteres), enmascarando los datos por seguridad.

Botón "Completar Registro" (Recuadro Verde): Componente de acción principal de alto contraste ubicado en la parte inferior del formulario. Al hacer clic sobre él, procesa la información y efectúa el registro síncrono en la base de datos del sistema.

Enlace "¿Ya tienes cuenta? Inicia sesión" (Recuadro Azul): Link interactivo de redirección ubicado en la base de la interfaz, el cual permite al usuario cancelar el proceso actual y regresar de forma directa a la pantalla de login web principal.

Módulo Alumnos - Plataforma Web Vista Docente (Hospital Virtual UTA)



Pestaña de Navegación "Alumnos" (Recuadro Rojo): Componente interactivo seleccionado dentro del menú lateral izquierdo. Al ser activado, renderiza dinámicamente el listado en tiempo real de los estudiantes registrados en el sistema, organizados bajo el título "Estudiantes autorizados en Simuladores VR".

Bloque de "Acciones" (Recuadro Azul): Conjunto de herramientas operativas ubicado en la columna derecha de la tabla de datos de cada alumno, el cual provee dos funciones de control administrativo directo:

Icono de Lápiz (Editar): Botón interactivo que despliega una ventana emergente modal con los campos precargados del estudiante seleccionado para modificar o actualizar su información académica síncronamente.

Icono de Basurero (Eliminar): Botón de acción que procesa la baja o remoción definitiva del perfil del alumno seleccionado de la base de datos tras una confirmación de seguridad.

Ventana Emergente - Actualizar Información del Estudiante (Plataforma Web Vista Docente)



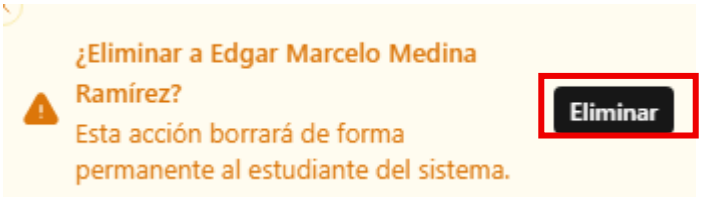
Campos "NOMBRES" y "APELLIDOS" (Primer y Segundo Recuadro Rojo): Cuadros de texto interactivos que cargan de forma automática la identidad actual del estudiante para permitir la edición o corrección directa de sus caracteres.

Desplegables "SEMESTRE" y "PARALELO" (Tercer y Cuarto Recuadro Rojo): Listas de selección desplegables con la información académica precargada, destinadas a reubicar o actualizar de forma ágil el nivel de estudio y el grupo del alumno.

Botón "Cancelar" (Recuadro Azul Izquierdo): Componente de acción secundario de bajo contraste ubicado en la base. Permite al docente anular cualquier modificación realizada en el formulario y cerrar la ventana emergente sin alterar los datos originales.

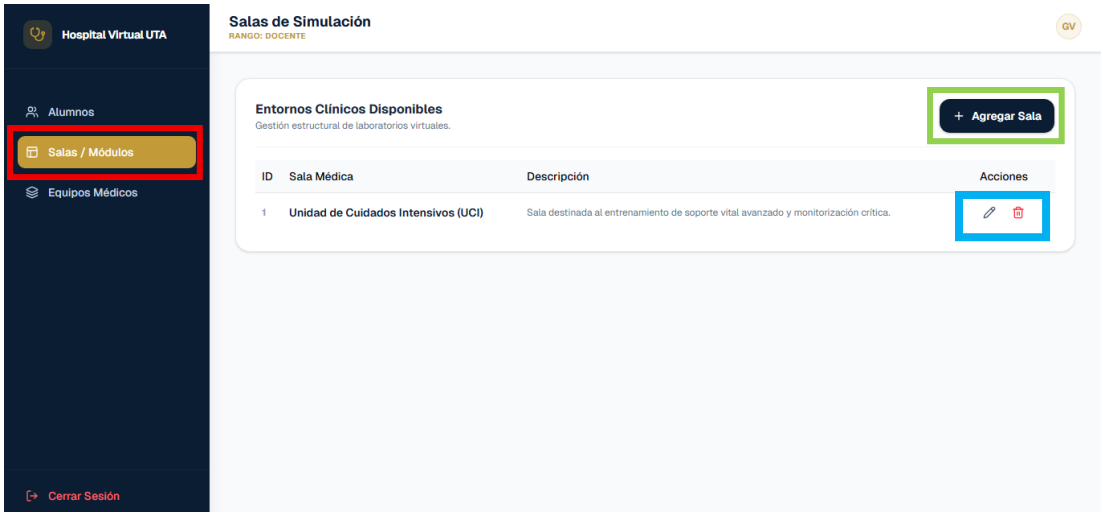
Botón "Guardar Cambios" (Recuadro Azul Derecho): Componente de acción principal de alto contraste. Al hacer clic sobre él, envía los datos modificados hacia el backend para procesar la actualización síncrona y actualizar los registros en la base de datos del sistema.

Cuadro de Diálogo - Confirmación para Eliminar Estudiante (Plataforma Web Vista Docente)



Botón "Eliminar" (Recuadro Rojo): Componente de acción principal de alto contraste. Al hacer clic sobre él tras leer el mensaje de advertencia ("¿Eliminar a...?", "Esta acción borrará de forma permanente al estudiante del sistema"), se despacha de forma asíncrona la petición de borrado definitivo hacia el backend para dar de baja el registro en la persistencia de datos.

Módulo de Gestión de Salas de Simulación (Plataforma Web)



Acceso al Módulo (Señalado con el Recuadro Rojo): Para administrar los espacios de entrenamiento, el docente o administrador debe autenticarse en la plataforma web "Hospital Virtual UTA" y dirigirse al menú de navegación lateral izquierdo. Debe hacer clic sobre la opción "Salas / Módulos", la cual se destaca en la guía visual mediante un recuadro rojo. Al activarse, la interfaz de React renderizará dinámicamente el panel principal de "Salas de Simulación", desplegando el listado estructurado de los entornos clínicos disponibles en tiempo real.

Creación de un Nuevo Entorno (Señalado con el Recuadro Verde): En la esquina superior derecha del panel "Entornos Clínicos Disponibles", el usuario ubicará el botón interactivo **"Agregar Sala"**, resaltado con un **recuadro verde**. Al presionar este componente, el sistema desplegará un formulario emergente que solicitará campos obligatorios como el nombre técnico de la sala médica y su respectiva descripción académica.

Modificación y Eliminación de Salas (Señalado con el Recuadro Azul): En la sección derecha de cada fila de la tabla, bajo la columna "Acciones", se localizan los controles operativos delimitados por un recuadro azul:

Icono de Lápiz (Editar): Permite abrir el formulario con los datos precargados de la sala (por ejemplo, la UCI para modificar su denominación o alcance técnico pedagógico.

Icono de Basurero (Eliminar): Permite dar de baja un entorno que ya no se requiera en la suite académica. Al hacer clic, la plataforma solicitará una confirmación de

seguridad en pantalla antes de destruir el registro o remover de forma lógica la sala, previniendo pérdidas accidentales de información.

Formulario de Registro de Nueva Sala



Llenado de datos (Recuadros Rojos): Al abrirse la ventana emergente "Registrar Nueva Sala", debe completar los dos campos de texto señalados con los recuadros rojos:

Nombre del Entorno: Escriba el nombre del laboratorio (por ejemplo: Quirófano General A).

Descripción: Ingrese el propósito académico o el contexto clínico del espacio.

Guardar la información (Recuadro Azul): Una vez llenados los campos, haga clic en el botón "Guardar Cambios" (marcado con el recuadro azul) para registrar la nueva sala en el sistema y actualizar la lista de forma inmediata. Si desea salir sin guardar, presione el botón "Cancelar" o la "×" de la esquina superior derecha.

Formulario de Edición de Sala



Edición de datos (Recuadros Rojos): Al abrirse la ventana emergente "Modificar Sala Médica", el sistema cargará automáticamente la información registrada del entorno. Puede modificar los campos señalados con los recuadros rojos:

Nombre del Entorno: Cambie o corrija el nombre actual del espacio (por ejemplo: UCI).

Descripción: Actualice el detalle técnico o los objetivos pedagógicos de la sala médica.

Actualizar la información (Recuadro Azul): Una vez realizados los cambios, haga clic en el botón "Guardar Cambios" (marcado con el recuadro azul) para sobrescribir los datos y refrescar la tabla general al instante. Si no desea guardar las modificaciones, presione el botón "Cancelar".

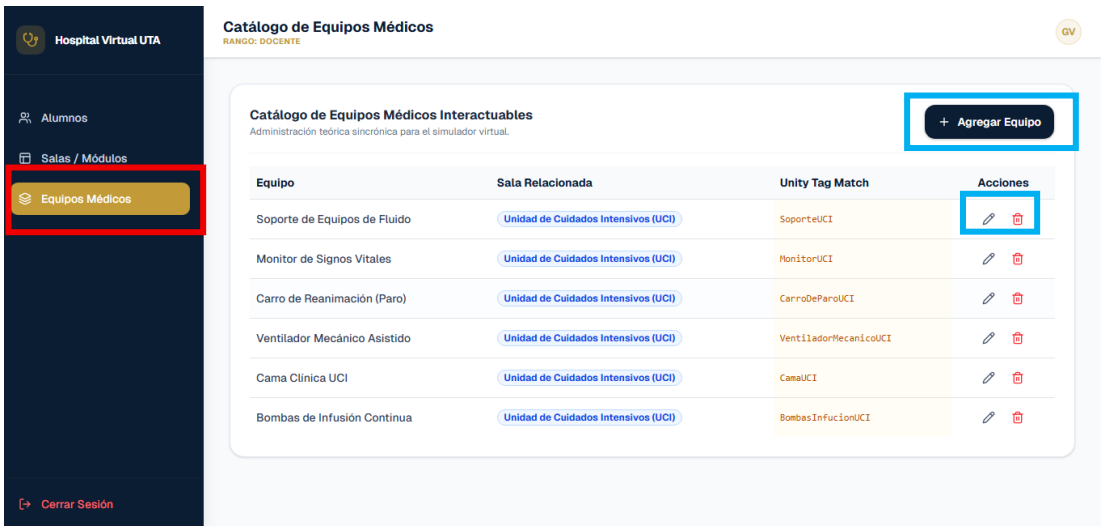
Eliminar Sala



Alerta de seguridad: Al presionar el icono del basurero en una sala específica, el sistema desplegará un mensaje de advertencia en pantalla para confirmar la acción, indicando el nombre del entorno afectado (por ejemplo: ¿Eliminar la sala UCI?).

Confirmar eliminación (Recuadro Rojo): Si está seguro de dar de baja el entorno, haga clic en el botón negro "Eliminar" señalado con el recuadro rojo. El sistema removerá el registro de forma inmediata y actualizará el listado principal. En caso de no querer proceder, simplemente haga clic fuera de la alerta para cancelar la acción.

Modulo Equipos



Acceso al Módulo (Recuadro Rojo): En el menú lateral izquierdo, haga clic sobre la opción "Equipos Médicos" marcada con el recuadro rojo. La plataforma desplegará el panel principal con el listado de todos los activos clínicos registrados, su sala correspondiente y su variable de emparejamiento.

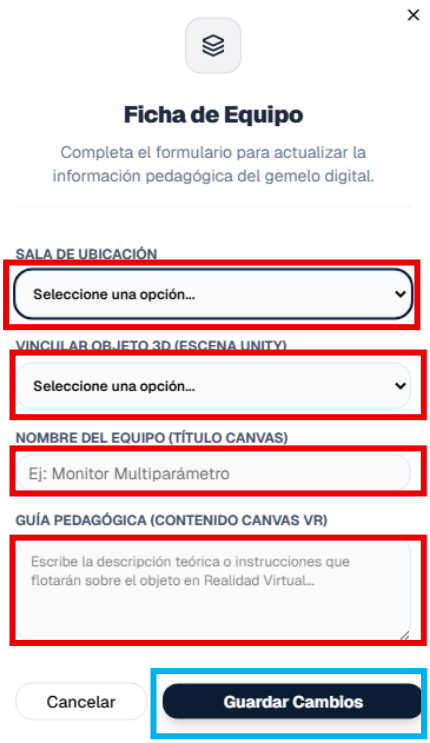
Registrar un Nuevo Equipo (Recuadro Azul Superior): En la parte superior derecha de la tabla, presione el botón "+ Agregar Equipo" señalado con el recuadro azul. Esto abrirá un formulario emergente para añadir un nuevo elemento biomédico al inventario del sistema.

Modificación y Eliminación de Equipos (Recuadro Azul Inferior): Al final de la fila de cada equipo registrado, se ubican los botones de control dentro del recuadro azul:

Icono de Lápiz (Editar): Permite modificar los metadatos, la sala asignada o la etiqueta del equipo seleccionado.

Icono de Basurero (Eliminar): Permite dar de baja el activo del sistema, mostrando un mensaje de confirmación previo.

Formulario de Crear Equipo Biomédico



Ingreso de metadatos (Recuadros Rojos): Al desplegarse la ventana emergente "Ficha de Equipo", debe completar las opciones y campos de texto señalados con los recuadros rojos:

Sala de Ubicación: Seleccione del menú desplegable la sala médica interactiva a la que pertenecerá el equipo.

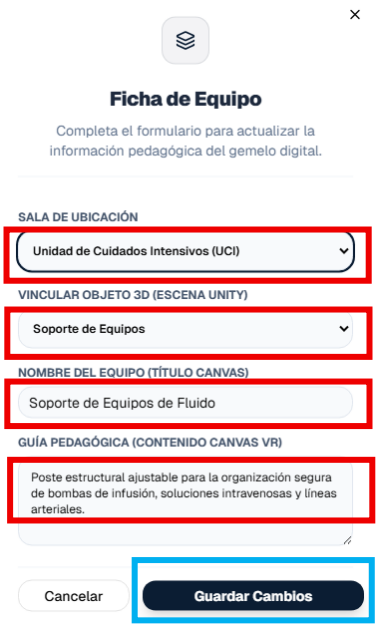
Vincular Objeto 3D (Escena Unity): Elija la etiqueta de emparejamiento correspondiente para enlazar el registro con la malla tridimensional del simulador.

Nombre del Equipo (Título Canvas): Escriba el nombre técnico que aparecerá como encabezado en el entorno virtual (por ejemplo: Monitor Multiparámetro).

Guía Pedagógica (Contenido Canvas VR): Redacte la descripción teórica o las instrucciones didácticas que flotarán sobre el objeto en Realidad Virtual.

Guardar la información (Recuadro Azul): Tras verificar los datos, haga clic en el botón "Guardar Cambios" (marcado con el recuadro azul) para almacenar el activo biomédico y actualizar el catálogo. Si desea anular la acción, presione el botón "Cancelar".

Formulario de Edición de Equipo



Edición de datos (Recuadros Rojos): Al abrirse la ventana emergente, el sistema cargará automáticamente los metadatos almacenados del gemelo digital seleccionado. Puede modificar los campos señalados con los recuadros rojos:

Sala de Ubicación: Cambie la asignación del espacio clínico si es necesario (por ejemplo: UCI).

Vincular Objeto 3D (Escena Unity): Modifique la etiqueta de enlace con el objeto interactivo de la simulación (por ejemplo: Soporte de Equipos).

Nombre del Equipo (Título Canvas): Actualice el encabezado que se visualizará en el entorno virtual (por ejemplo: Soporte de Equipos de Fluido).

Guía Pedagógica (Contenido Canvas VR): Corrija o complemente la descripción teórica que flotará sobre el modelo tridimensional.

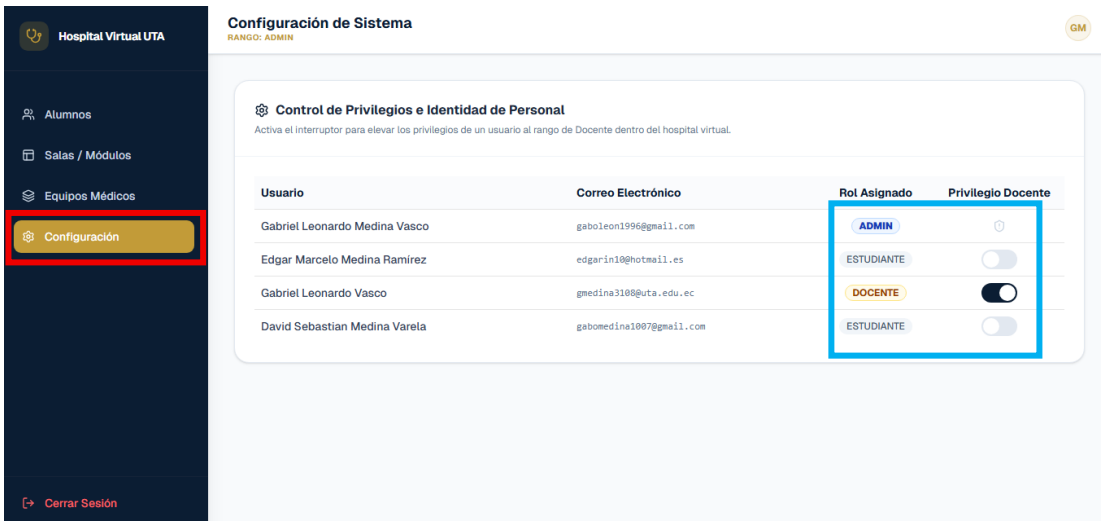
Eliminar Equipo Biomédico



Alerta de seguridad: Al presionar el icono del basurero en un equipo específico, el sistema desplegará un mensaje de advertencia en pantalla para confirmar la acción, indicando el nombre del activo afectado (por ejemplo: ¿Eliminar Soporte de Equipos de Fluido?).

Confirmar eliminación (Recuadro Rojo): Si está seguro de dar de baja el activo, haga clic en el botón negro "Eliminar" señalado con el recuadro rojo. El sistema removerá el registro del catálogo de forma inmediata. Si no desea proceder, haga clic fuera de la alerta para cancelar la acción.

Configuración Administrador



Acceso al Módulo (Recuadro Rojo): En el menú lateral izquierdo, haga clic sobre la opción "Configuración" marcada con el recuadro rojo. La plataforma desplegará el panel de "Control de Privilegios e Identidad de Personal".

Elevación de Roles (Recuadro Azul): En este módulo se listan las cuentas registradas en el sistema. Para modificar los permisos de un usuario, interactúe con los elementos dentro del recuadro azul:

Interruptor (Privilegio Docente): Active el interruptor de palanca (switch) en la fila del usuario correspondiente para elevar de forma inmediata su rol de Estudiante a Docente. Al hacerlo, la etiqueta de la columna "Rol Asignado" se actualizará automáticamente reflejando los nuevos privilegios administrativos dentro del hospital virtual.

Anexo U. Manual del sistema

El sistema interactivo inmersivo es una plataforma distribuida que recrea una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) mediante realidad virtual y una plataforma web, permitiendo al usuario:

Autenticarse de forma segura mediante credenciales institucionales.

Explorar y reconocer la infraestructura y distribución espacial de una sala UCI real.

Interactuar con el inventario biomédico mediante un sistema de rayos (Raycast) para desplegar fichas técnicas didácticas de los equipos.

Administrar de forma global las salas, el catálogo de equipos médicos y los privilegios de los usuarios desde un panel web de control docente.

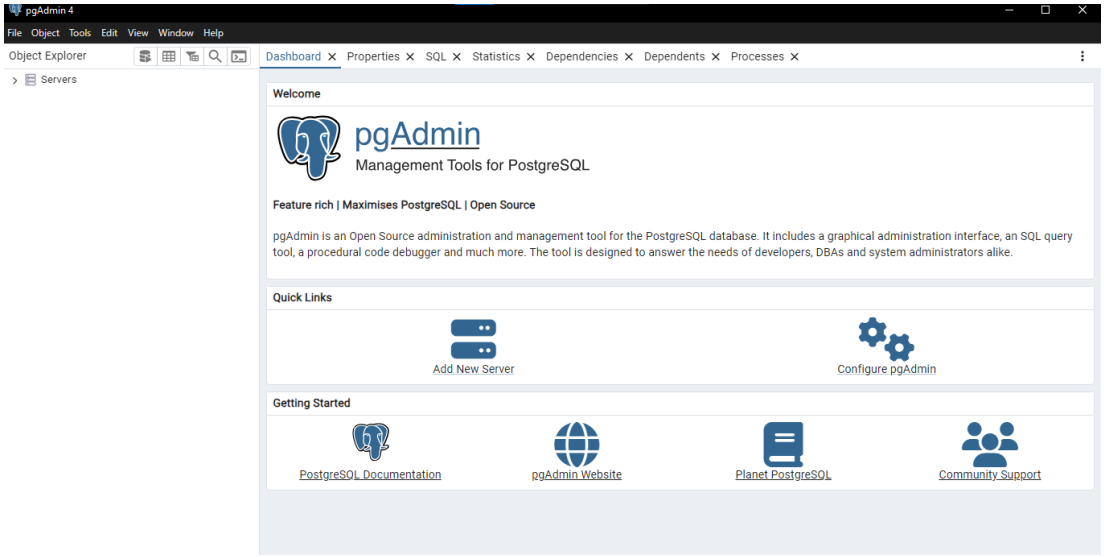
Requisitos Mínimos del Sistema

Recurso	Mínimo	Recomendado
Procesador	Intel Core i5 / AMD Ryzen 5	Intel Core i7 / AMD Ryzen 7
Tarjeta Gráfica	NVIDIA GTX 1060 / AMD RX 580	NVIDIA RTX 3060 o superior
Memoria RAM	8 GB	16 GB
Sistema Operativo	Windows 10 / 11 (64 bits)	Windows 11 (64 bits)
Gafas RV	Meta Quest 3 / Meta Quest 3S	Meta Quest 3
Conexión	Cable USB Tipo C 3.0	Cable Oculus Link USB-C de alta velocidad
Motor de Base de Datos	PostgreSQL 14 o superior	PostgreSQL 16
Entorno de Ejecución	Node.js 18 LTS	Node.js 20 LTS o superior
Gestor de Paquetes	NPM (incluido en Node.js)	NPM o Yarn

Configuración de la Base de Datos

Paso 1: Instalación del Motor de Base de Datos

Descargue e instale PostgreSQL (versión 14 o superior) junto con la herramienta de administración pgAdmin desde su sitio oficial.



Durante el asistente de instalación, configure la contraseña para el usuario administrador (postgres) y asegúrese de que el servicio se ejecute en el puerto estándar 5432.

Abra pgAdmin, conéctese al servidor local y cree una nueva base de datos vacía llamada hospital_virtual_uta.

Paso 2: Inicialización de la Estructura de Datos (Script DDL y Seed)

Descargue el script SQL estructurado de la base de datos desde el siguiente enlace de almacenamiento institucional de la universidad:

https://utaedu-my.sharepoint.com/:t:/g/personal/gmedina3108_uta_edu_ec/IQDUCm2knnPUQLxrPawjX1PtAdbZ7dX5p2WB8WNGrvNwsGY?e=RftKDK

Seleccione la base de datos que creó en pgAdmin, abra la herramienta de consultas (Query Tool), copie el contenido del archivo descargado, péguelo en el editor y presione el botón Execute (F5) para construir automáticamente las tablas, relaciones e insertar el catálogo inicial de equipos de la UCI.

Instalación de la plataforma web y backend

Paso 1: Instalación de Entorno Base Descargue e instale Node.js (versión LTS) desde su sitio oficial.



Despliegue del Backend (NestJS)

Ingrese a la carpeta del repositorio del backend a través de la terminal de comandos.

Ejecute el comando npm install para descargar todas las dependencias y módulos requeridos de NestJS.

Configure las variables de entorno (archivo .env) especificando las credenciales de conexión a PostgreSQL, el puerto del servidor y la firma del token JWT.

Inicialice el servidor ejecutando el comando npm run start:dev. La terminal confirmará que los servicios y los endpoints de la API están activos y escuchando peticiones de forma correcta.

Despliegue del Frontend (React)

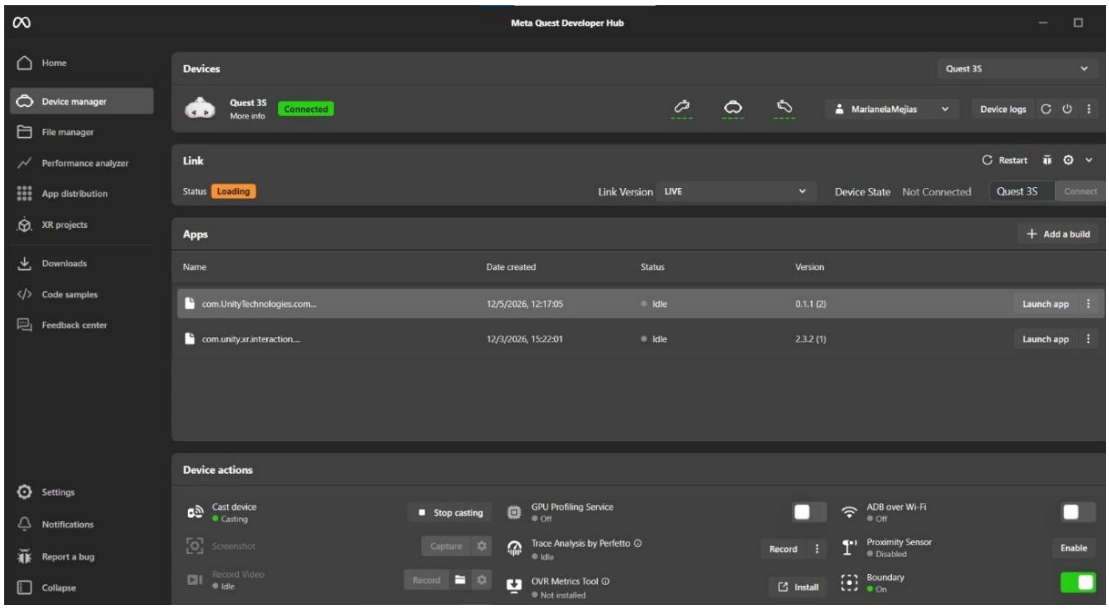
Abra una nueva terminal e ingrese a la carpeta del repositorio de la plataforma web.

Instale los paquetes necesarios de React ejecutando el comando npm install.

Configure la URL base apuntando hacia la dirección IP o puerto donde se encuentra corriendo el backend de NestJS.

Inicie la interfaz administrativa con el comando npm run dev. El sistema proporcionará una dirección local (por ejemplo, http://localhost:5173) para acceder inmediatamente al panel de login del Hospital Virtual desde cualquier navegador web.

Instalación de Meta Quest developer hub y configuración del visor



Paso 1: Descarga del software de control Descargue e instale la aplicación oficial Meta Quest Developer Hub (MQDH) en la computadora según su sistema operativo (Windows o macOS).

Paso 2: Activación del Modo Desarrollador

Desde un dispositivo móvil, abra la aplicación Meta Horizon e inicie sesión con la cuenta institucional o de administrador vinculada al visor.

Encienda las gafas Meta Quest 3, ingrese a la configuración del dispositivo dentro de la app móvil y active de forma definitiva el interruptor del Modo Desarrollador.

Paso 3: Vinculación física del Hardware Inicie el programa MQDH en la PC, encienda las gafas Meta Quest 3 y conéctelas a la computadora utilizando el cable USB Tipo C de alta velocidad. El sistema solicitará un permiso de depuración dentro del visor, colóquese las gafas y seleccione la opción "Permitir siempre desde esta computadora". Al realizarlo, el visor aparecerá en estado activo en la pestaña Device Manager.

Instalación del Simulador Inmersivo (archivo apk)

Paso 1: Descarga del archivo compilado Acceda al enlace de almacenamiento institucional e inicie la descarga del archivo binario ejecutable con extensión .apk que contiene el entorno virtual de la Sala UCI:

https://utaedu-my.sharepoint.com/:u:/g/personal/gmedina3108_uta_edu_ec/IQCw9nNwrigHTqxxQl11NLzjAUI3sf5e0TMyg5g65H2dh9M?e=CEUQ1z

Paso 2: Transferencia al dispositivo Standalone Abra la sección de aplicaciones (Apps) dentro del panel Device Manager de Meta Quest Developer Hub. Proceda a arrastrar y soltar el archivo APK descargado directamente sobre la ventana del programa. El sistema iniciará la transferencia y la instalación automática en la memoria de almacenamiento del visor de Realidad Virtual.

Paso 3: Ejecución de la Práctica Clínica Colóquese el visor Meta Quest 3, acceda al menú de la Biblioteca de Aplicaciones, diríjase al filtro de categorías ubicado en la esquina superior derecha y seleccione la sección Orígenes Desconocidos. Haga clic sobre la aplicación del simulador de la UCI para dar inicio formal a la simulación médica interactiva.

Anexo V. Instrumento de validación pedagógica por expertos

El presente instrumento tiene como objetivo valorar la pertinencia pedagógica del entorno virtual inmersivo para la simulación de una Unidad de Cuidados Intensivos, analizando su capacidad como recurso de apoyo al proceso de enseñanza en la carrera de Enfermería.

Para su aplicación, se consideró un perfil de experto compuesto por docentes de Enfermería, profesionales especialistas en cuidados críticos. La valoración se realizó mediante una escala de cumplimiento de cinco niveles: 1 (Muy bajo), 2 (Bajo), 3 (Medio), 4 (Alto) y 5 (Muy alto). Los criterios evaluados se detallan a continuación:

Relación con contenidos: ¿El simulador se relaciona adecuadamente con los contenidos formativos de cuidados críticos?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

Familiarización espacial: ¿El entorno virtual contribuye a la familiarización espacial del estudiante con una UCI?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

Pertinencia de equipos: ¿Los equipos biomédicos representados son pertinentes para la formación de Enfermería?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

Reconocimiento técnico: ¿La información mostrada sobre los equipos facilita el reconocimiento técnico del estudiante?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

Lógica clínica: ¿La distribución de los equipos en el entorno responde a una lógica clínica y formativa?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

Uso preprácticas: ¿El simulador puede utilizarse como recurso de refuerzo previo a las prácticas hospitalarias reales?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

Motivación: ¿La experiencia inmersiva favorece la motivación y participación activa del estudiante?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

Integración docente: ¿El entorno puede integrarse fácilmente en actividades docentes guiadas o autónomas?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

Refuerzo de contenidos: ¿El recurso permite reforzar contenidos que son de difícil acceso en un laboratorio físico tradicional?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

Valor pedagógico global: ¿Considera que el simulador posee un valor pedagógico sólido como apoyo al proceso de enseñanza?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

Observaciones generales:

_____

Interpretación de los resultados: Se considerará una pertinencia pedagógica alta para promedios entre 4,00 y 5,00. Una pertinencia media para promedios entre 3,00 y 3,99 y se determinará que el recurso requiere ajustes si el promedio es inferior a 3,00.

Anexo W. Instrumento de evaluación de aprendizaje (Pretest - Postest)

El presente instrumento tiene como objetivo evaluar el nivel de familiarización técnica y espacial de los estudiantes de Enfermería respecto a una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), tanto antes como después de la interacción con el simulador virtual. El cuestionario consta de 12 ítems, donde cada respuesta correcta equivale a 2 puntos, para una calificación máxima de 24 puntos.

Instrucciones: Seleccione la opción que considere correcta para cada uno de los ítems presentados.

Dimensión 1. Reconocimiento técnico de equipos biomédicos (10 puntos)



Identifique el equipo utilizado para la ventilación mecánica del paciente:

( ) Equipo A ( ) Equipo B ( ) Equipo C ( ) Equipo D ( ) Equipo E ( ) Equipo F

Identifique el equipo destinado a las Bombas de Infusión:

( ) Equipo A ( ) Equipo B ( ) Equipo C ( ) Equipo D ( ) Equipo E ( ) Equipo F

Reconozca el equipo utilizado para monitorizar signos vitales:

( ) Equipo A ( ) Equipo B ( ) Equipo C ( ) Equipo D ( ) Equipo E ( ) Equipo F

Identifique la función principal del carro de paro:

( ) Equipo A ( ) Equipo B ( ) Equipo C ( ) Equipo D ( ) Equipo E ( ) Equipo F

Reconozca la utilidad clínica del soporte de sueros:

( ) Equipo A ( ) Equipo B ( ) Equipo C ( ) Equipo D ( ) Equipo E ( ) Equipo F

Identifique el equipo biomédico llamado Cama UCI:

( ) Equipo A ( ) Equipo B ( ) Equipo C ( ) Equipo D ( ) Equipo E ( ) Equipo F

Dimensión 2. Familiarización espacial de la UCI (10 puntos)



Identifique la ubicación del ventilador mecánico dentro de la sala:

( ) Zona A ( ) Zona B ( ) Zona C

Determine la ubicación del monitor de signos vitales:

( ) Zona A ( ) Zona B ( ) Zona C

Reconozca la zona del carro de paro UCI:

( ) Distribución A ( ) Distribución B ( ) Distribución C

Identifique las zonas de las bombas de Infusión:

( ) Zona A ( ) Zona B ( ) Zona C

Identifique las zonas de la cama UCI:

( ) Zona A ( ) Zona B ( ) Zona C

Identifique las zonas del soporte de sueros:

( ) Zona A ( ) Zona B ( ) Zona C

Interpretación de los resultados: La puntuación final se calculará mediante la sumatoria de las respuestas correctas (2 puntos por ítem), clasificando el desempeño del estudiante de la siguiente manera:

0 a 12 puntos: Nivel bajo de familiarización/reconocimiento.

13 a 18 puntos: Nivel medio de familiarización/reconocimiento.

19 a 24 puntos: Nivel alto de familiarización/reconocimiento.

Anexo X. Evidencias de pruebas con estudiantes



Figura 92. Capacitación simulador virtual UCI



Figura 93. Capacitación de interacción en el simulador UCI



Figura 94. Capacitación de desplazamiento en el simulador UCI



Figura 95. Capacitación de equipos biomédicos en la sala UCI