

Desarrollo de una aplicación de realidad mixta para la simulación del entrenamiento de internos de medicina en atención de hemorragia postparto

Julián Andrés Gaitán Hernández

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero de Sistemas e informática

Director

Lola Xiomara Bautista Rozo

Doctora en Automática, Procesamiento de Señales e Imágenes Digitales

Codirector

Luis Eduardo Bautista Rojas

Doctor. en Ciencias de la Computación

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática
Bucaramanga
2026

Dedicatoria

A mis padres, por su apoyo incondicional, sus consejos y la fortaleza que me han transmitido a lo largo de este camino académico y personal.

A mi novia, por su compañía constante, comprensión y motivación en los momentos más exigentes de este proceso.

A mis amigos, por las palabras de ánimo, la camaradería y las risas que hicieron más llevadero este trayecto.

A mis directores de proyecto, por su guía y paciencia, y a mis compañeros de trabajo, por compartir este camino de esfuerzo y aprendizaje.

“Solo podemos ver un poco del futuro, pero lo suficiente para saber que hay mucho por hacer.”

Alan Mathison Turing

Tabla de contenido

Introducción..... 13

1. Planteamiento del proyecto 15

1.1 Planteamiento del problema 15

1.2 Justificación 17

1.3 Objetivos..... 19

2. Marco de Referencia..... 19

2.1 Fundamentos Teóricos 19

2.1.1 Hemorragia postparto (HPP) 19

2.1.2 Realidad Extendida (XR) 22

2.1.3 Mongo DB 24

2.1.4 Unity 25

2.1.5 Meta Quest 3..... 26

2.1.6 Wit.ai 27

2.2 Antecedentes del tema 28

2.2.1 Estado del arte Internacional 28

2.2.2 estado del arte 30

3. Metodología..... 32

3.1 Caso clínico 33

3.1.1 Definición de roles 34

3.1.2 Integración con la aplicación..... 35

3.2 Análisis de requisitos 38

3.3 Diseño del sistema..... 44

3.3.1	Diseño modular del sistema.....	44
3.3.2	Diseño de la base de datos.....	48
3.3.3	Diseño del backend.....	51
3.3.4	Diagrama de casos de uso.....	55
3.3.5	Arquitectura de la aplicación.....	56
3.4	Desarrollo iterativo.....	58
3.5	Pruebas técnicas y de usabilidad	60
3.6	Evaluación y retroalimentación.....	61
4.	Resultados.....	61
4.1	Introducción.....	61
4.2	Implementación de la aplicación	62
4.2.1	Arquitectura general de la aplicación	62
4.2.2	Sistema de control de escena.....	63
4.2.3	Sistemas de Interacción Multimodal	64
4.2.4	Modelo de datos de resultados de simulación	65
4.2.5	Implementación funcional de la aplicación.....	66
4.3	Reconocimiento de voz con Wit.ai.....	88
4.4	Sistema de control de la escena	92
4.4.1	Orquestación de momentos	92
4.4.2	Secuenciación de la interfaz	92
4.4.3	Lógica por pantalla.....	93
4.4.4	Interpretación de voz en contexto.....	93
4.4.5	Flujo integrado.....	94
4.5	Resultados del backend e integración con la plataforma web	96

4.5.1 Descripción del backend.....	96
4.5.2 Flujo de interacción con Meta Quest 3	99
4.5.3 Acceso desde la plataforma SIMA	101
4.5.4 Evaluación técnica de la integración	103
4.6 Prueba de funcionamiento	107
4.7 Prueba de usabilidad.....	108
5. Conclusiones.....	111
6. Recomendaciones	113
7. Trabajo Futuro	114
Referencias Bibliográficas.....	117
Apéndices.	121

Lista de Figuras

Figura 1 Arquitectura modular e integración con servicios externos 48

Figura 2 UML del modelo de datos implementado 51

Figura 3 Despliegue Backend..... 55

Figura 4 Diagrama de casos de uso. 56

Figura 5 Arquitectura de alto nivel de la aplicación..... 57

Figura 6 Sesión de validación con la doctora Adriana Inés González Guitián 60

Figura 7 Diagrama de clases a nivel macro de la arquitectura general del sistema XR..... 63

Figura 8 Diagrama UML del sistema de control de escenas y secuenciación clínica 64

Figura 9 Diagrama UML de los sistemas de interacción multimodal gaze, voz y manos..... 65

Figura 10 Diagrama UML del modelo de datos lógico en Unity 66

Figura 11 Pantalla tutorial de interacción por pinch..... 67

Figura 12 Pantalla tutorial de interacción por Gaze. 68

Figura 13 Pantalla tutorial de interacción por comandos de voz..... 68

Figura 14 Autenticación con un usuario de prueba. 69

Figura 15 Timeline de unity mostrando un momento de la simulación. 71

Figura 16 Ejemplo de etiquetado del entorno físico con Scene Understanding en Meta Quest 3..... 72

Figura 17 Scene understanding de las Meta Quest 3, detección de una habitación. 73

Figura 18 Proceso de colocación del ancla espacial en la superficie etiquetada como “Table” para la simulación de hemorragia posparto, mediante técnicas de Scene Understanding. 74

Figura 19 Colocación de ancla, ghost del maniqui en rojo al detectar un lugar incorrecto 75

Figura 20 Ejemplo del funcionamiento de escenas aditivas en Unity, mostrando el proceso de pre-carga y activación progresiva..... 76

Figura 21 Interfaz de usuario que notifica al estudiante el inicio del proceso de grabación de pantalla durante la simulación..... 77

Figura 22 Visualización del video generado, cargado correctamente en el servidor de almacenamiento y accesible mediante un enlace web desde un navegador. 78

Figura 23 Diagrama que explica el gaze desde una vista superior. 79

Figura 24 Fragmento real de timeline del gaze 81

Figura 25 gaze_dwll, resumen de fijaciones del gaze 82

Figura 26 Diagrama que muestra el funcionamiento de la zona trigger..... 83

Figura 27 Línea de tiempo de la detección de manos. 84

Figura 28 Fragmento del JSON que muestra la línea de tiempo de detección de las manos y el resumen del tiempo total..... 86

Figura 29 Documentos de sesiones de simulación almacenados en la colección simulaciones de MongoDB.

88

Figura 30 Captura de pantalla con todos los intents definidos en la aplicación visibles desde la plataforma web de Wit.ai..... 89

Figura 31 Captura de pantalla que muestra distintos sinónimos para el mismo comando de voz "signos vitales" definidos en la plataforma web de Wit.ai. 90

Figura 32 Fragmento JSON con decisiones medicas guardadas 91

Figura 33 Configuración de cada pantalla UI en Unity..... 93

Figura 34 Flujo del sistema de control de la escena..... 96

Figura 35 Diagrama de secuencia de la integración entre la aplicación XR en Meta Quest 3, el backend de servicios, el sistema de almacenamiento SeaweedFS y la base de datos MongoDB. 101

Figura 36 Interfaz de la plataforma SIMA mostrando hora de inicio y tiempo total. 102

Figura 37 Interfaz de la plataforma SIMA mostrando decisiones médicas tomadas por el estudiante y el tiempo empleado en cada momento 103

Figura 38 Acceso a los datos de la simulación, decisiones médicas, tiempos y video desde la plataforma SIMA con usuario de prueba. 105

Figura 39 Datos de la simulación obtenidos usando Postman 106

Figura 40 Estudiantes usando la aplicación bajo un ambiente controlado. Se monitorea lo que ve cada estudiante transmitiendo directamente a un computador.....110

Figura 41 Formulario de usabilidad. Creo que me gustaría usar esta experiencia con frecuencia..... 122

Figura 42 Formulario de usabilidad. Encontré esta experiencia innecesariamente compleja 123

Figura 43 Formulario de usabilidad. Pensé que la experiencia era fácil de usar..... 123

Figura 44 Formulario de usabilidad. Creo que necesitaría apoyo técnico para poder usar esta experiencia.
124

Figura 45 Formulario de usabilidad. Encontré que las funciones de la experiencia estaban bien integradas
124

Figura 46 Formulario de usabilidad. Pensé que había demasiada inconsistencia en este experiencia..... 125

Figura 47 Formulario de usabilidad. Imagino que la mayoría de personas aprenderían a usar este experiencia muy rápidamente. 125

Figura 48 Formulario de usabilidad. Encontré la experiencia complicada de usar. 126

Figura 49 Formulario de usabilidad. Me sentí muy seguro/a usando la experiencia. 126

Figura 50 Necesité aprender muchas cosas antes de poder usar la experiencia de manera efectiva..... 127

Lista de tablas

Tabla 1 Secuencia de momentos y acciones del caso clínico de hemorragia postparto..... 35

Tabla 2 Requerimiento funcional Número 1 39

Tabla 3 Requerimiento Funcional Número 2 39

Tabla 4 Requerimiento funcional Número 3 39

Tabla 5 Requerimiento Funcional Número 4 40

Tabla 6 Requerimiento Funcional Número 5 40

Tabla 7 Requerimiento Funcional Número 6 41

Tabla 8 Requerimiento Funcional Número 7 41

Tabla 9 Requerimiento Funcional Número 8 41

Tabla 10 Requerimiento Funcional Número 9 42

Tabla 11 Requerimiento No Funcional Número 1 43

Tabla 12 Requerimiento No Funcional Número 2..... 43

Tabla 13 Requerimiento No Funcional Número 3..... 44

Tabla 14 Estructura del documento en la colección simulaciones 49

Tabla 15 Resultados de la verificación de requisitos funcionales y no funcionales..... 107

Tabla 16 Tabla de resultados puntaje SUS por estudiante y promedio del grupo111

Tabla 17 Manual de inicio rápido 131

Lista de **apéndices**

Apéndice A. Resultados de prueba de usabilidad

Apéndice B. Manual de usuario.

Resumen

Título: Aplicación de Realidad Mixta para la Enseñanza del Manejo de la Hemorragia Postparto en Estudiantes de Medicina

Autor: Julián Andrés Gaitán Hernández

Palabras Clave: Realidad Mixta, Simulación Médica, Hemorragia Postparto, Educación en Salud, Meta Quest 3, Interacción por Voz

Descripción:

La hemorragia postparto constituye una de las principales causas de mortalidad materna a nivel mundial, lo que ha motivado el desarrollo de nuevas estrategias de enseñanza para la formación de profesionales en salud. La presente investigación propone el diseño e implementación de una aplicación en realidad mixta, ejecutada en el dispositivo Meta Quest 3, cuyo objetivo es fortalecer las competencias de los estudiantes de medicina en el protocolo de atención frente a esta emergencia obstétrica. El sistema integra diversas tecnologías: anclaje espacial para la alineación del entorno virtual con un simulador físico, interacción multimodal mediante comandos de voz (Wit.ai), gestos manuales y control por mirada (gaze), así como la recolección automática de métricas de desempeño (tiempos, decisiones médicas, trayectorias de la mirada y contacto manual). Dichas métricas se almacenan en una base de datos MongoDB a través de un backend desarrollado en Node.js con integración a la plataforma académica SIMA, lo que garantiza la disponibilidad de resultados para el análisis docente. La metodología aplicada contempló el análisis de requisitos, el diseño arquitectónico del sistema, el desarrollo iterativo de las funcionalidades y la verificación de su funcionamiento mediante pruebas técnicas y de usabilidad (escala SUS). Los resultados evidencian el cumplimiento de los requisitos funcionales y un nivel de usabilidad positivo según la percepción de los usuarios, lo que valida la pertinencia de la aplicación como herramienta pedagógica innovadora en la enseñanza médica.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática.

Director: Lola Xiomara Bautista Rozo. Doctora en Automática, Procesamiento de Señales e Imágenes Digitales.

Codirector: Luis Eduardo Bautista Rojas Doctor en Ciencias de la Computación.

Abstract

Title: Mixed Reality Application for Teaching Postpartum Hemorrhage Management to Medical Students

Author: Julián Andrés Gaitán Hernández

Keywords: Mixed Reality, Medical Simulation, Postpartum Hemorrhage, Health Education, Meta Quest 3, Voice Interaction

Description:

Postpartum hemorrhage is one of the leading causes of maternal mortality worldwide and represents a critical challenge for medical education and clinical preparedness. This situation has driven the development of innovative teaching strategies aimed at improving the training of healthcare professionals in emergency obstetric care. This research proposes the design and implementation of a mixed reality application, executed on the Meta Quest 3 device, intended to strengthen medical students' competencies in the standardized care protocol for this obstetric emergency. The system integrates various technologies: spatial anchoring for the alignment of the virtual environment with a physical simulator, multimodal interaction through voice commands (Wit.ai), hand gestures, and gaze control, as well as the automatic collection of performance metrics (times, medical decisions, gaze trajectories, and manual contact). These metrics are stored in a MongoDB database through a backend developed in Node.js with integration into the SIMA academic platform, which guarantees the availability of results for teaching analysis. The methodology applied included requirements analysis, system architectural design, iterative development of functionalities, and verification of their operation through technical and usability tests (SUS scale). The results demonstrate compliance with functional requirements and a positive level of usability according to user perception, which validates the relevance of the application as an innovative pedagogical tool in medical education.

* Thesis

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Systems Engineering and Computer Science.
Director: Lola Xiomara Bautista Rozo, Doctor in Automation, Signal Processing, and Digital Imaging.
Co-director: Luis Eduardo Bautista Rojas, Doctor in Computer Science.

Introducción

La hemorragia posparto (HPP) constituye una de las principales complicaciones obstétricas y una de las mayores causas de mortalidad materna a nivel mundial (Wilcox et al., 2017). A pesar de los avances en la atención hospitalaria y de la disponibilidad de tratamientos efectivos en países de altos ingresos, en los contextos de ingresos bajos y medianos la HPP continúa representando una emergencia obstétrica crítica (Markley & Carusi, 2019). Se estima que cerca del 99 % de los desenlaces fatales asociados a esta condición ocurren en estos entornos, donde los sistemas de salud enfrentan limitaciones estructurales, escasez de recursos y deficiencias en la formación práctica del personal de salud (Drew & Carvalho, 2021). Este panorama evidencia la necesidad de fortalecer las estrategias de formación médica, particularmente en el desarrollo de competencias clínicas para la atención oportuna y adecuada de la HPP.

En el contexto de la formación médica, y específicamente en programas de pregrado como el de Medicina de la Universidad Industrial de Santander (UIS), se han identificado dificultades recurrentes en el logro de competencias relacionadas con el reconocimiento temprano, la toma de decisiones clínicas y la ejecución sistemática del protocolo de atención de la HPP. Estas dificultades están asociadas, en gran medida, a la limitada exposición de los estudiantes a escenarios reales de alta complejidad, a la naturaleza impredecible de las emergencias obstétricas y a la dependencia de métodos de enseñanza predominantemente teóricos o basados en simulaciones tradicionales con acceso restringido. Como consecuencia, muchos estudiantes no alcanzan un nivel óptimo de preparación para enfrentar de manera autónoma y segura este tipo de emergencias en el contexto clínico real.

En respuesta a estas limitaciones, las tecnologías inmersivas como la realidad virtual (VR) y la realidad extendida (XR) han emergido como herramientas innovadoras para la enseñanza médica. Estas tecnologías permiten recrear escenarios clínicos complejos en entornos controlados, favoreciendo el aprendizaje experiencial, la repetición deliberada y la retroalimentación inmediata, sin poner en riesgo la seguridad del paciente. Estudios recientes han demostrado que el uso de sistemas XR mejora la comprensión espacial, la precisión en procedimientos clínicos y la confianza de los estudiantes, superando los resultados obtenidos mediante métodos tradicionales de enseñanza basados en visualización bidimensional (Annabestani et al., 2024; Einloft et al., 2024).

En este marco, el presente trabajo de grado se desarrolla como parte del proyecto de investigación titulado “Programa de simulación clínica con tecnologías convergentes para el aprendizaje de la atención primaria de urgencias en salud”, financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión. Dicho proyecto busca fortalecer la formación en urgencias médicas mediante el uso de tecnologías emergentes, integrando la simulación clínica con herramientas digitales avanzadas.

Como resultado de este trabajo, se diseñó e implementó una aplicación de realidad mixta orientada a la enseñanza del protocolo de atención de la hemorragia posparto, ejecutada en dispositivos Meta Quest 3. La aplicación integra técnicas de interacción natural mediante gestos, seguimiento de la mirada (gaze) y comandos de voz, y permite la captura y visualización de métricas de desempeño en tiempo real durante la simulación. Para validar su funcionamiento y pertinencia, se realizaron pruebas de funcionamiento y pruebas de usabilidad con estudiantes de medicina, enfocadas en el uso del sistema, la coherencia del flujo del protocolo clínico y la correcta captura de métrica. Los resultados obtenidos evidencian la viabilidad de la aplicación

como herramienta de apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje, con potencial para fortalecer tanto las competencias técnicas como no técnicas de los estudiantes en la atención de una emergencia obstétrica crítica como la HPP.

1. Planteamiento del proyecto

1.1 Planteamiento del problema

La hemorragia postparto (HPP) constituye una de las principales causas de mortalidad materna en el mundo, siendo responsable de aproximadamente el 25 % de todas las muertes maternas globalmente(Wilcox et al., 2017). Aunque en países de altos recursos las tasas han disminuido gracias a la implementación de protocolos clínicos avanzados, disponibilidad de sangre segura, medicamentos uterotónicos y equipos especializados, en los países de ingresos bajos y medianos la HPP sigue siendo una emergencia obstétrica con altos índices de mortalidad (Markley & Carusi, 2019). Se estima que el 99 % de los casos fatales ocurren en contextos en vía de desarrollo, donde los sistemas de salud carecen de infraestructura adecuada, recursos esenciales y personal capacitado(Drew & Carvalho, 2021).

En Colombia, estas limitaciones también afectan la formación de los internos de medicina. Los métodos tradicionales de enseñanza clínica, basados en prácticas supervisadas, se enfrentan a obstáculos como la disponibilidad limitada de escenarios reales de atención, la poca frecuencia de casos críticos durante la práctica y la necesidad de garantizar la seguridad de los pacientes. A ello se suma la escasez de simulaciones clínicas de alta fidelidad, lo que impide que los estudiantes puedan ejercitar sus habilidades en condiciones controladas y seguras(DiMiceli Maryand Banerjee et al., 2020).

La capacitación en entornos clínicos simulados con tecnología avanzada, como los simuladores obstétricos de alta fidelidad, los centros de simulación clínica especializados y los sistemas híbridos que integran maniqués físicos con plataformas digitales, suele implicar altos costos de adquisición, mantenimiento y operación, además de requerir infraestructura física y personal especializado que no está disponible en todos los hospitales o centros educativos. Ante estas restricciones, se vuelve necesario diseñar soluciones innovadoras que permitan a los internos practicar de forma frecuente en entornos inmersivos y accesibles, replicando de manera realista situaciones críticas como la hemorragia posparto.

Las tecnologías de realidad extendida (XR), que abarcan la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR), han demostrado ser herramientas efectivas para el entrenamiento médico. Estas permiten recrear emergencias obstétricas con un nivel de inmersión alto, repetición ilimitada de procedimientos y retroalimentación inmediata, mejorando la retención de conocimientos y el tiempo de respuesta en escenarios reales (Curran et al., 2023); (Gholamalishahi et al., 2024).

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar aplicaciones XR adaptadas a dispositivos accesibles como el Meta Quest 3, que integren elementos físicos (un maniqué clínico) con contenido virtual interactivo, control por voz y registro de métricas de desempeño. Sin embargo, la creación de este tipo de soluciones plantea retos técnicos asociados con la optimización del rendimiento, la integración de módulos de interacción (voz, video, rastreo espacial) y la transmisión confiable de datos hacia plataformas de análisis remoto.

A partir de lo anterior, la presente investigación se orienta a responder la siguiente pregunta:

¿Cómo diseñar una arquitectura de software eficiente para una aplicación de realidad mixta en Meta Quest 3 que integre reconocimiento espacial, interacción con un maniquí físico, registro audiovisual, comandos de voz y sincronización con una plataforma remota para su posterior análisis?

1.2 Justificación

La reducción de la mortalidad materna es un objetivo prioritario en salud pública, y la HPP representa un desafío crítico en este propósito. El fortalecimiento de la formación de los internos de medicina mediante entornos simulados constituye una estrategia eficaz para garantizar una atención más oportuna y segura en escenarios reales.

El uso de XR en este campo aporta ventajas pedagógicas, pues permite a los estudiantes practicar procedimientos de manera repetitiva, recibir retroalimentación en tiempo real y enfrentarse a contextos clínicos que difícilmente podrían presenciar durante sus rotaciones. A nivel internacional, múltiples estudios han demostrado que la simulación inmersiva mejora la adquisición de habilidades técnicas y no técnicas en emergencias obstétricas, incrementa la confianza del estudiante y reduce los errores en la práctica clínica (Curran et al., 2023); (Gholamalishahi et al., 2024).

Desde la perspectiva ingenieril, este proyecto justifica su pertinencia por el reto que supone integrar en un solo sistema tecnologías de reconocimiento espacial, control por voz, registro audiovisual y transmisión de métricas, todo ello bajo las restricciones de hardware del dispositivo Meta Quest 3. El desarrollo de un prototipo de este tipo no solo aporta a la educación médica, sino que también constituye un aporte en el área de ingeniería de software aplicada a entornos XR.

Finalmente, la propuesta responde a una necesidad institucional de la Universidad Industrial de Santander (UIS), que ha venido impulsando el uso de simuladores virtuales y técnicas de gamificación en la enseñanza médica. El proyecto complementa estos esfuerzos con una herramienta innovadora de realidad mixta que, además de apoyar la formación clínica, puede convertirse en un referente para futuras investigaciones interdisciplinarias.

1.3 Objetivos

Objetivo general

Desarrollar el prototipo de una aplicación de realidad mixta haciendo uso del motor de videojuegos Unity para el dispositivo Meta quest 3 para el aprendizaje de los internos de medicina, en la simulación de escenarios de hemorragia postparto.

Objetivos específicos

- Implementar un sistema de reconocimiento de voz con Wit.ai para interpretar comandos de voz del usuario y permitir la interacción con los elementos de la simulación.
- Desarrollar un sistema de control de la escena, que regule el comportamiento de los elementos de la escena, la activación de eventos clínicos y la entrega de información de apoyo al usuario.
- Evaluar técnicamente la integración del dispositivo Meta Quest 3 con la plataforma Web, asegurando su correcto funcionamiento y garantizando una interacción fluida entre ambos sistemas.

2. Marco de Referencia

2.1 Fundamentos Teóricos

2.1.1 Hemorragia postparto (HPP)

La hemorragia obstétrica representa una de las principales complicaciones en el ámbito de la salud materna, y su definición puede variar debido a la falta de consenso respecto al volumen exacto de sangre cuya pérdida se considera excesiva. De acuerdo con el momento en que ocurre,

se clasifica en hemorragia anteparto (HAP) y hemorragia posparto (HPP) (Asturizaga Patricia & Toledo Jaldin Lilian, 2014).

La hemorragia posparto, en particular, se define como la pérdida sanguínea que excede los 500 ml tras un parto vaginal o los 1000 ml luego de una cesárea, asociada a una velocidad de sangrado superior a los 150 ml por minuto, lo que puede resultar en la pérdida del 50 % del volumen sanguíneo total en apenas 20 minutos. Esta condición no solo implica una pérdida cuantitativa de sangre, sino también cambios hemodinámicos que afectan la estabilidad del paciente (Asturizaga Patricia & Toledo Jaldin Lilian, 2014).

Para el diagnóstico de una HPP se consideran varios criterios clínicos y de laboratorio, entre ellos la pérdida de más del 25 % de la volemia (o del 50 % en un período de tres horas), un descenso de al menos 10 puntos en el hematocrito, una pérdida aproximada de 150 ml por minuto durante un lapso de 20 minutos, y la disminución de la hemoglobina en 4 g/dl o más. Además, suelen observarse manifestaciones clínicas como debilidad, vértigo, síncope, hipotensión, taquicardia y oliguria, síntomas que reflejan la gravedad del cuadro hemorrágico (Asturizaga Patricia & Toledo Jaldin Lilian, 2014).

La adecuada identificación y manejo de la hemorragia posparto son fundamentales, ya que su evolución rápida puede comprometer la vida de la paciente. Por ello, la formación médica en protocolos de respuesta inmediata ante esta emergencia obstétrica es un componente esencial en la educación de los futuros profesionales de la salud (Asturizaga Patricia & Toledo Jaldin Lilian, 2014).

La hemorragia posparto (HPP) puede originarse por diversas causas que, en términos clínicos, se resumen en cuatro grandes categorías conocidas como las "4 T": Tono, Tejido, Trauma y Trombina. La primera causa, relacionada con el tono uterino, es la atonía uterina,

situación en la cual el útero no logra contraerse adecuadamente después del parto. Esta condición suele estar asociada a factores de riesgo como la gestación múltiple, la presencia de polihidramnios, la macrosomía fetal, la ruptura prematura de membranas prolongada, fiebre o un parto prolongado y/o demasiado rápido, así como la elevada multiparidad (Karlsson & Perez Sanz, 2009).

La segunda categoría corresponde al tejido, haciendo referencia a la retención de productos placentarios o de coágulos en el útero, lo que impide la adecuada contracción uterina. Factores como el acrecimiento placentario o antecedentes de cirugías uterinas previas incrementan el riesgo de esta condición (Karlsson & Perez Sanz, 2009).

La tercera causa, el trauma, involucra las lesiones en el canal del parto, como desgarros, roturas o inversión uterinas. Dichos traumatismos pueden ser consecuencia de partos instrumentados, expulsivos precipitados, distocias, hiperestimulación uterina o maniobras obstétricas como la versión cefálica externa o la maniobra de Credé (Karlsson & Perez Sanz, 2009).

Finalmente, la alteración de la trombina se refiere a los trastornos de la coagulación, que pueden ser adquiridos o congénitos. Entre las alteraciones adquiridas destacan la preeclampsia, el síndrome de Hellp, la coagulación intravascular diseminada (CID), la embolia de líquido amniótico y la sepsis. Por otro lado, entre las causas congénitas figuran enfermedades como la enfermedad de Von Willebrand y la hemofilia tipo A (Karlsson & Perez Sanz, 2009).

El diagnóstico de la hemorragia postparto (HPP) es principalmente clínico y se basa en la identificación de una pérdida hemática excesiva, la cual puede manifestarse antes del alumbramiento de la placenta, conocida como hemorragia de la tercera fase, o posterior a este evento, considerada como HPP verdadera. Entre los signos vitales, la presión arterial sistólica

es uno de los principales indicadores de compromiso hemodinámico: cifras entre 100-80 mmHg sugieren afectación leve a moderada, mientras que valores entre 80-70 mmHg indican compromiso moderado, y presiones sistólicas entre 70-50 mmHg evidencian una afectación grave (Karlsson & Perez Sanz, 2009).

En cuanto a los síntomas clínicos, una hemorragia leve puede manifestarse a través de debilidad generalizada, sudoración excesiva y taquicardia. Una afectación moderada se acompaña de palidez cutánea y oliguria, mientras que un compromiso grave se caracteriza por la presencia de shock hipovolémico, insuficiencia renal con anuria, disnea y, en el puerperio inmediato, la posibilidad del desarrollo del síndrome de Sheehan (Karlsson & Perez Sanz, 2009).

La hemorragia anteparto ocurre antes del nacimiento y puede ser causada por placenta previa, desprendimiento de placenta, ruptura uterina o vasa previa. La hemorragia puerperal se divide en precoz, cuando ocurre dentro de las primeras 24 horas, y tardía, cuando aparece entre las 24 horas y la sexta semana posparto. Entre las causas de la hemorragia precoz destacan la atonía uterina, los traumatismos del canal del parto, la retención de restos placentarios y la inversión uterina. En la forma tardía, predominan la retención de tejidos, la endometriitis y la involución anormal del útero (Asturizaga Patricia & Toledo Jaldin Lilian, 2014).

Finalmente, la hemorragia secundaria a coagulopatías incluye alteraciones congénitas o adquiridas, como la coagulación intravascular diseminada, la sepsis, la preeclampsia o el síndrome de Hellp, que predisponen a un sangrado descontrolado (Asturizaga Patricia & Toledo Jaldin Lilian, 2014).

2.1.2 Realidad Extendida (XR)

La realidad extendida (XR) es un conjunto de tecnologías que integran elementos reales y virtuales para crear entornos de interacción avanzada. Su principal ventaja radica en la capacidad

de generar espacios inmersivos que permiten la práctica de habilidades en condiciones controladas, a la vez que ofrecen información localizada y contextualizada durante el proceso de entrenamiento. Diversos estudios han resaltado la utilidad de la XR para facilitar el acceso a información procedimental y de soporte en tiempo real, especialmente en entornos educativos inmersivos. Estas características hacen de la realidad extendida una herramienta de gran valor para mejorar el aprendizaje práctico, aumentar la retención de conocimientos y optimizar la toma de decisiones en situaciones simuladas de alta complejidad(Bautista et al., 2023).

El término realidad extendida (XR) surge a partir del concepto del "continuo de la virtualidad" propuesto por Milgram y Kishino, el cual describe un espectro que abarca desde el mundo real hasta entornos completamente virtuales. La XR comprende todas aquellas tecnologías que combinan diferentes canales de información, como reconstrucciones tridimensionales, sonidos e información aumentada, para crear experiencias interactivas de distintos niveles de inmersión. A diferencia de las definiciones limitadas a la realidad aumentada (AR) o la realidad virtual (VR), la XR integra una gama más amplia de tecnologías emergentes, como el cine en 3D, las redes 5G y la inteligencia artificial, que contribuyen a enriquecer la interacción entre los usuarios y los entornos digitales(Lee & Calderón, 2021).

El uso de tecnologías de realidad extendida (XR) en el ámbito educativo ha crecido de manera significativa en los últimos años, impulsado por los avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Estas innovaciones han permitido transformar la enseñanza de contenidos tradicionalmente complejos, modelando nuevos ritmos de aprendizaje y facilitando la comprensión a través de entornos virtuales inmersivos(Lee & Calderón, 2021).

A pesar de este crecimiento, persisten ciertos desafíos en su aplicación educativa. Algunos desarrolladores de soluciones en XR no siempre están familiarizados con las teorías pedagógicas, lo que puede generar limitaciones prácticas en el diseño de experiencias de aprendizaje efectivas. No obstante, la integración de realidad virtual, aumentada y mixta en la educación representa una oportunidad valiosa para fortalecer procesos formativos, particularmente en áreas donde la simulación práctica es fundamental, como en el entrenamiento médico (Lee & Calderón, 2021).

2.1.3 Mongo DB

MongoDB es una base de datos orientada a documentos que proporciona gran escalabilidad y flexibilidad en la gestión de la información. Su modelo de datos se basa en documentos similares a JSON, lo que permite una estructura flexible, en la que los campos pueden variar entre documentos y adaptarse a cambios a lo largo del tiempo. Esta característica facilita su integración con los objetos manejados en el código de las aplicaciones, optimizando el trabajo de los desarrolladores (MongoDB Inc., s/f).

Entre sus principales ventajas se encuentran las consultas ad hoc, la indexación avanzada y las capacidades de agregación en tiempo real, que permiten un acceso y análisis eficiente de los datos. Además, MongoDB ha sido diseñada como una base de datos distribuida desde su núcleo, ofreciendo alta disponibilidad, escalabilidad horizontal y la posibilidad de distribución geográfica de manera nativa (MongoDB Inc., s/f).

En términos de licenciamiento, MongoDB es de uso gratuito, aunque las versiones publicadas después del 16 de octubre de 2018 se distribuyen bajo la Licencia Pública del Lado

del Servidor (SSPL) versión 1, mientras que las versiones anteriores se encuentran bajo la Licencia Pública General de Affero (AGPL). Estas características hacen que MongoDB sea una opción sólida para proyectos que requieren manejar grandes volúmenes de datos con estructuras dinámicas, como aplicaciones de realidad extendida y simuladores interactivos(MongoDB Inc., s/f).

2.1.4 Unity

Unity es un motor de desarrollo que permite crear experiencias interactivas tanto en 2D como en 3D. Su principal lenguaje de programación es C#, utilizado tanto para el desarrollo de juegos como para la creación de extensiones del editor mediante plugins. Inicialmente, el motor también soportaba los lenguajes Boo y UnityScript, pero desde la versión 2017.1 se consolidó el uso exclusivo de C# debido a su robustez y eficiencia(Unity Technologies, s/f).

En el ámbito del desarrollo en 2D, Unity facilita la importación de sprites y ofrece un motor de renderizado avanzado. Para proyectos en 3D, proporciona herramientas para la compresión de texturas, configuración de mipmaps, ajuste de resoluciones específicas por plataforma y soporte para efectos visuales como mapas de relieve, mapeo de reflejos, parallax mapping, oclusión ambiental en espacio de pantalla (SSAO), sombras dinámicas y postprocesamiento de pantalla completa(Unity Technologies, s/f).

Unity cuenta con tres sistemas de renderizado: el High Definition Render Pipeline (HDRP), el Universal Render Pipeline (URP) y el sistema integrado clásico, cada uno con características y niveles de calidad gráfica distintos. Además, a través del Unity Asset Store, los desarrolladores pueden adquirir y vender recursos como modelos 3D, entornos, y herramientas adicionales, lo que fomenta una comunidad activa de intercambio de contenido digital. Estas

características convierten a Unity en una plataforma versátil para el desarrollo de simulaciones médicas inmersivas en entornos de realidad extendida, como el proyecto propuesto en este trabajo de grado (Unity Technologies, s/f).

2.1.5 Meta Quest 3

El Meta Quest 3 es un dispositivo de realidad mixta que incorpora importantes mejoras en potencia, ergonomía y capacidades visuales respecto a su predecesor. Equipado con el procesador Snapdragon XR2 Gen 2, duplica la capacidad de procesamiento gráfico, permitiendo una mayor fluidez en aplicaciones exigentes como juegos de alta velocidad y simulaciones de alta resolución (Meta Platforms, s/f-a).

En términos de almacenamiento, el dispositivo ofrece 512 GB, lo cual facilita la descarga de múltiples experiencias y contenidos para visualización offline. Su sistema de cámaras RGB proporciona una resolución de paso de 18 PPD, ofreciendo imágenes en color de alta fidelidad para una interacción más precisa con el entorno físico. El Quest 3 incluye 8 GB de memoria DRAM, mejorando el rendimiento multitarea en un 33 % respecto al Quest 2. Además, su diseño ergonómico es un 30 % más delgado y cuenta con correas ajustables y ajuste de profundidad facial para mejorar la comodidad durante el uso prolongado (Meta Platforms, s/f-a).

El sistema óptico se compone de pantallas con una resolución de 2064×2208 píxeles por ojo, con tasas de refresco de hasta 120 Hz y lentes tipo pancake, que incrementan la nitidez visual central en un 25 %. Su campo de visión se extiende a 110 grados en sentido horizontal y 96 grados en vertical, ofreciendo una experiencia más inmersiva (Meta Platforms, s/f-a).

En cuanto a interacción, el Meta Quest 3 soporta hand tracking avanzado sin controladores y controladores Touch Plus con haptics variables, optimizando la percepción táctil y la naturalidad del movimiento en entornos virtuales. Además, es compatible con contenidos de versiones anteriores (Quest 2) y permite la conexión a PC mediante Meta Quest Link o Air Link para experiencias de mayor potencia gráfica (Meta Platforms, s/f-a). Estas características convierten al Meta Quest 3 en una plataforma idónea para el desarrollo de simuladores médicos en realidad mixta, como el propuesto en el presente proyecto de grado.

2.1.6 *Wit.ai*

Wit.ai es una plataforma de procesamiento de lenguaje natural (NLU) desarrollada por Meta Platforms, Inc., que permite a las aplicaciones interpretar comandos de voz y texto de manera sencilla. A través del Voice SDK, Wit.ai proporciona integración directa con dispositivos como los cascos de realidad virtual Meta Quest, dispositivos móviles y plataformas de terceros, facilitando la creación de experiencias controladas por voz sin requerir conocimientos avanzados en inteligencia artificial o aprendizaje automático (Meta Platforms, s/f-b). Los usuarios pueden activar la captura de voz mediante eventos definidos en la aplicación, tales como la selección de objetos, la interacción con personajes o la superación de umbrales de tiempo específicos.

En su estructura básica, Wit.ai trabaja con conceptos fundamentales como utterances (lo que el usuario dice) e intents (lo que el usuario desea lograr), permitiendo a las aplicaciones interpretar correctamente las acciones que deben ejecutar a partir de las instrucciones del usuario. El sistema también distingue entre intenciones de confirmación, de negación y de acciones específicas, mejorando la interacción conversacional natural entre humanos y sistemas digitales.

El proceso de construcción de una aplicación en Wit.ai comienza con el registro en la plataforma y la creación de una nueva aplicación, en la cual se define el idioma y el nombre del proyecto. Posteriormente, el entrenamiento del sistema se realiza proporcionando ejemplos de expresiones de usuario (utterances) asociadas a intenciones específicas (intents). Wit.ai, mediante aprendizaje supervisado, infiere significados a partir de un número reducido de ejemplos, aunque se recomienda enriquecer la base de datos de entrenamiento para mejorar la precisión (Meta Platforms, n.d.-c).

A medida que el entrenamiento progresa, es posible validar nuevas expresiones, mejorar la tasa de confianza en el reconocimiento de intenciones y agregar entidades que capturen información adicional relevante, como números, fechas o temperaturas. Finalmente, la plataforma permite realizar consultas a través de su API HTTP para integrar el modelo entrenado en aplicaciones reales, facilitando la implementación de sistemas de control por voz robustos y adaptativos (Meta Platforms, n.d.-c).

2.2 Antecedentes del tema

2.2.1 Estado del arte Internacional

La hemorragia posparto (HPP) sigue siendo una de las principales causas de mortalidad materna a nivel mundial, por lo que la formación basada en simulación se ha consolidado como una estrategia efectiva para fortalecer conocimientos, habilidades y la toma de decisiones en escenarios de emergencia obstétrica (Almutairi et al., 2025).

En enfermería y partería, diversos diseños de estudio (ensayos con control, esquemas pre-post y aleatorizados por grupos) muestran mejoras significativas tras la simulación. En un

estudio experimental con grupo control, las enfermeras que recibieron entrenamiento simulado mejoraron conocimiento y desempeño práctico inmediatamente y al mes (Almutairi et al., 2025).

Del mismo modo, en un diseño pre–post con estudiantes de enfermería–obstetricia en Tanzania, la educación basada en simulación elevó conocimientos, habilidades, autoconfianza y satisfacción, aunque los autores señalan como limitación la ausencia de grupo control y el estudio en un único centro (Faustine et al., 2025).

La evidencia también apoya efectos sostenidos cuando se combina teoría y simulación. En un ensayo en la República Democrática del Congo, ambos grupos mejoraron tras la fase teórica; sin embargo, la simulación añadió aproximadamente un 12% de ganancia adicional en conocimiento y produjo mejoras significativas en habilidades (OSCE) frente al control. A los tres y seis meses, el declive fue mayor en el grupo solo teórico, sugiriendo refuerzos semestrales para mantener los logros (Cikwanine et al., 2025).

En la comparación directa con métodos tradicionales, la simulación virtual destaca por su alta aceptación sin sacrificar el aprendizaje teórico. En un ensayo aleatorizado cruzado con estudiantes de partería, la simulación virtual obtuvo mayor satisfacción, más involucramiento y mejor facilidad de uso, con conocimientos equivalentes a la clase supervisada (Voillequin et al., 2022).

Para habilidades procedimentales, la realidad virtual (VR) aporta ventajas medibles. En un RCT (ensayo clínico aleatorizado) con estudiantes de medicina, tanto VR como PowerPoint aumentaron conocimiento y confianza por igual, pero el grupo VR completó más rápido la

inserción de balón posparto (1–2 min vs 2–3 min) y reportó muy alta satisfacción con la experiencia inmersiva (Dunlop et al., 2024).

Finalmente, desde la ingeniería de software y la organización del desarrollo, se subraya la relevancia de equipos interdisciplinarios (salud, diseño, computación) para crear plataformas VR de HPP alineadas con guías clínicas y estándares de simulación, destacando procesos de codiseño, iteración y coordinación entre perfiles técnicos y clínicos (Lu et al., 2024).

En conjunto, la literatura reciente muestra que la simulación, especialmente cuando se combina con la teoría, potencia el aprendizaje y el desempeño clínico, con beneficios sostenibles si se refuerza periódicamente; que las modalidades virtuales y de realidad virtual incrementan la satisfacción y pueden agilizar procedimientos; y que el desarrollo de estas herramientas requiere una estrecha colaboración interdisciplinaria para garantizar su pertinencia técnica y pedagógica. Estos hallazgos respaldan la pertinencia de una aplicación de realidad mixta centrada en la interacción con un maniquí, con registro audiovisual de la sesión y captura de decisiones por voz para revisión posterior por parte del docente.

2.2.2 Estado del arte

El estado del arte presenta una revisión de los principales antecedentes académicos y trabajos previos relacionados con el uso de tecnologías de simulación, realidad virtual y gamificación en la formación clínica de estudiantes de medicina. Su propósito es identificar enfoques metodológicos, aportes relevantes y limitaciones existentes, con el fin de contextualizar el presente proyecto y evidenciar su aporte diferencial dentro del ámbito académico e institucional.

Desde hace varios años, en la Universidad Industrial de Santander (UIS) se han desarrollado investigaciones y trabajos académicos orientados a la simulación clínica y al uso de entornos virtuales y estrategias de gamificación para apoyar el aprendizaje en contextos médicos. A continuación, se presentan algunos antecedentes relevantes disponibles en el repositorio institucional.

“Recurso educativo gamificado soportado en técnicas de realidad virtual para el apoyo del aprendizaje en manejo de hemorragia obstétrica, orientado a estudiantes de medicina
“

Este trabajo presenta el diseño e implementación de un recurso interactivo basado en dinámicas de juego para la toma de decisiones clínicas. Se demuestra que la gamificación incrementa la participación activa del estudiante y facilita la evaluación formativa mediante retroalimentación inmediata, fomentando un aprendizaje más significativo (Vargas Gonzales Laura Sofía & Buitrago Medina Jonathan, 2022)

“Simulación de un ambiente virtual gamificado para el entrenamiento de estudiantes de medicina en la aplicación del procedimiento de código rojo en pacientes obstétricas”

Describe la creación de un entorno simulado que combina elementos de juego con un contexto clínico realista, incluyendo niveles de dificultad progresivos, misiones y recompensas virtuales. Este modelo fomenta la práctica repetitiva de procedimientos sin riesgo para el paciente y refuerza habilidades técnicas y no técnicas como comunicación, priorización y trabajo en equipo (Piñeros Diaz Juliana Alexandra, 2022)

“Escenario clínico fundamentado en realidad virtual y gamificación aplicado a la enseñanza del manejo activo del alumbramiento como prevención de la hemorragia obstétrica, orientada a la formación de estudiantes de medicina”

Detalla el desarrollo de un escenario clínico digital basado en guías y protocolos oficiales, que integra interacciones controladas por el usuario y retroalimentación adaptativa. Esta herramienta refuerza competencias específicas en situaciones críticas y permite personalizar el aprendizaje según el nivel del estudiante. (Torres Carreño Diana Sofia & Garcia Flores Sebastian, 2022)

En conjunto, estos trabajos evidencian el interés académico en la UIS por implementar tecnologías de simulación y gamificación para fortalecer el entrenamiento clínico, ofreciendo bases metodológicas y técnicas que resultan pertinentes para el desarrollo de la propuesta en realidad mixta que plantea este proyecto.

3. Metodología

El presente proyecto de grado se enmarca en un enfoque aplicado de carácter tecnológico, cuyo propósito principal es el diseño y desarrollo de un prototipo de aplicación de realidad mixta orientada a la simulación del manejo de la hemorragia postparto (HPP). La metodología adoptada responde a la necesidad de integrar principios de ingeniería de software con las demandas específicas de la educación médica, lo que exige un proceso flexible, iterativo y centrado en el usuario final.

Para tal fin, se implementó una estrategia basada en metodologías ágiles, caracterizada por la planificación incremental, la entrega frecuente de resultados parciales y la retroalimentación

continúa por parte de los evaluadores. Este enfoque permitió avanzar en la construcción del prototipo mediante ciclos de desarrollo sucesivos, en los cuales se integraron y validaron progresivamente las funcionalidades técnicas y pedagógicas de la aplicación.

El capítulo se estructura en cinco secciones principales. En primer lugar, se describe el análisis de requisitos, en el cual se definieron los aspectos funcionales, no funcionales y tecnológicos del sistema. Posteriormente, se presenta el diseño del sistema, que incluye la arquitectura de software, los módulos y los esquemas de interacción usuario–sistema. En la tercera sección se expone el desarrollo iterativo, donde se detallan las fases de construcción y la integración de tecnologías específicas. A continuación, se presentan las pruebas técnicas y de usabilidad, realizadas para garantizar el correcto desempeño del prototipo. Finalmente, se aborda la evaluación y retroalimentación, que recoge los resultados obtenidos, el análisis de las métricas y las lecciones aprendidas durante el proceso.

3.1 Caso clínico

El desarrollo de la aplicación se sustentó en un escenario clínico definido por la estudiante Silvia Catalina Granados Salamanca, del programa de Diseño Industrial, en su trabajo de grado titulado “Diseño de una experiencia de realidad extendida como herramienta pedagógica para el acompañamiento de un biomodelo en la enseñanza y práctica del protocolo de atención para hemorragia postparto”, el cual hace parte del proyecto de investigación “Programa de simulación clínica con tecnologías convergentes para el aprendizaje de la atención primaria de urgencias en salud”. En dicho trabajo se describe de manera detallada y secuencial el manejo de una paciente con hemorragia postparto secundaria a atonía uterina. Este caso clínico constituyó el insumo pedagógico y narrativo que guio la construcción de la experiencia en realidad

extendida, al permitir traducir un evento real de emergencia obstétrica en una secuencia organizada de momentos clínicos programados dentro de la simulación.

El caso simula a una paciente que, tras un parto vaginal, presenta atonía uterina persistente y sangrado activo, sin respuesta inicial al masaje bimanual ni al uso de uterotónicos de primera línea. En este contexto, se diseñaron dieciséis momentos clínicos que progresan de manera secuencial, en los cuales los diferentes roles del equipo de salud deben ejecutar intervenciones específicas para estabilizar a la paciente.

3.1.1 Definición de roles

En el guion clínico se contemplaron cuatro roles habituales en la atención obstétrica de emergencias:

- **Coordinador:** lidera la atención, toma decisiones críticas y da instrucciones al resto del equipo. Es quien evalúa el estado de la paciente, define el uso de uterotónicos y determina la necesidad de intervenciones avanzadas o de referencia.
- **Asistente 1:** apoya al coordinador en maniobras clínicas como masaje uterino, administración de medicamentos o monitoreo de signos vitales.
- **Asistente 2:** complementa al asistente 1, participando en intervenciones técnicas adicionales como la colocación de un balón hidrostático, empaquetamiento vaginal o apoyo en la exploración con valvas.
- **Circulante:** cumple funciones logísticas y de soporte, como la preparación de medicamentos, alistamiento de insumos y coordinación de la comunicación con familiares o servicios externos.

Estos roles fueron definidos en el guion clínico elaborado por la estudiante Silvia Catalina Granados Salamanca y permiten simular un escenario colaborativo que refleja la dinámica real de un equipo obstétrico frente a una emergencia.

3.1.2 Integración con la aplicación

Cada uno de los momentos clínicos definidos en el caso clínico estructurado por Granados Salamanca fue traducido a un “momento” dentro de la aplicación de realidad extendida, en el cual el estudiante debe ejecutar acciones específicas asociadas al manejo de la hemorragia posparto. El caso clínico se encuentra organizado en un total de 16 momentos secuenciales, los cuales permitieron establecer los roles clínicos de cada integrante del equipo de atención (coordinador, asistente 1, asistente 2 y circulante), así como las acciones correspondientes a cada rol en cada etapa del manejo.

Estos momentos fueron implementados en la aplicación XR mediante interacciones en el entorno virtual, tales como el uso de comandos de voz para expresar decisiones clínicas, la selección de opciones mediante gaze para avanzar en la simulación y el registro automático de métricas como tiempos de respuesta, contacto de manos y dirección de la mirada. La **Tabla 1** presenta la secuencia de momentos y las acciones asociadas a cada rol clínico, constituyéndose en la base sobre la cual se estructuró el flujo completo de la simulación.

Tabla 1

Secuencia de momentos y acciones del caso clínico de hemorragia postparto.

Momento	Coordinador	Asistente 1	Asistente 2	Circulante
---------	-------------	-------------	-------------	------------

1	Evaluar tono	Colocar oxígeno	Canalizar 2 accesos venosos	Calentar bolsa de líquidos endovenosos
2	Evacuar la vejiga	Tomar signos vitales e informar	Pasar sonda vesical	Recibir muestras sanguíneas
3	Evaluar el estado del choque (índice de choque)	Controlar la temperatura de la paciente	Pasar primera bolsa de líquidos	Llamar a la ambulancia
4	Ordenar medicamentos [1]	Llevar registro actividades realizadas	Pasar medicamentos ordenados por el coordinador	Informar a la familia del estado de la paciente
5	Iniciar masaje bimanual	Tomar signos vitales informar	Pasar segundo uterotónico	Avisar al sitio de referencia
6	Ordenar segundo uterotónico	Llevar registro actividades realizadas	Pasar segunda bolsa de líquidos	Calentar segunda bolsa de líquidos
7	Reevaluar el estado de choque	Tomar signos vitales informar	Colocar el traje antichoque	Apoyar en actividades solicitadas
8	Ordenar traje antichoque	Llevar registro actividades realizadas	Pasar tercer uterotónico	Apoyar al A1 en colocar el traje antichoque

9	Ordenar tercer uterotónico	Tomar signos vitales informar	Pasar tercera bolsa de líquidos	Apoyar en actividades solicitadas
10	Reevaluar no respuesta	Llevar registro actividades realizadas	Preparar instrumentación	Apoyar en actividades solicitadas
11	Solicitar balón hidrostático	Tomar signos vitales informar	Apoyar en la inserción	Apoyar con masaje bimanual
12	Insertar el balón	Llevar registro actividades realizadas	Apoyar con la instrumentación	Apoyar en actividades solicitadas
13	Realizar empaquetamiento vaginal	Tomar signos vitales informar	Ayudar con las valvas	Apoyar en actividades solicitadas
14	Revisar el canal vaginal	Llevar registro actividades realizadas	Apoyar en la sutura	Apoyar en actividades solicitadas
15	Suturar desgarro	Tomar signos vitales de normalidad	Apoyar con la instrumentación	Coordinar traslado de camilla a ambulancia
16	Realiza empaquetamiento vaginal / Proceder con remisión	Llevar registro de actividades realizadas		

3.2 Análisis de requisitos

El segundo paso en el desarrollo del prototipo consistió en realizar un análisis detallado de los requisitos necesarios para garantizar tanto la pertinencia pedagógica como la viabilidad técnica de la aplicación. Este proceso se fundamentó en tres fuentes principales:

1. Revisión bibliográfica: se consultaron estudios relacionados con la hemorragia postparto, las metodologías de entrenamiento médico mediante simulación y las tecnologías de realidad extendida (XR). Esto permitió identificar los aspectos clínicos esenciales que debía contemplar el prototipo, así como las mejores prácticas en el diseño de entornos inmersivos para la educación médica.
2. Evaluación tecnológica: se analizaron las capacidades del dispositivo Meta Quest 3 y del motor de desarrollo Unity, identificando sus limitaciones de hardware y software. Este ejercicio fue crucial para establecer restricciones de rendimiento, almacenamiento y procesamiento gráfico que debían considerarse en la definición de los requisitos.
3. Definición funcional: a partir de los dos puntos anteriores, se estructuró un conjunto de requisitos funcionales y no funcionales que orientaron el diseño de la arquitectura del sistema.

En las siguientes tablas se presentan los requisitos generales identificados, organizados en dos categorías: funcionales y no funcionales.

Tabla 2

Requerimiento funcional Número 1

Identificación del requerimiento	RF01
Nombre del requerimiento	Comandos de voz
Descripción del requerimiento	El sistema debe permitir la interacción mediante comandos de voz utilizando Wit.ai para interpretar acciones clínicas (ej. administrar medicamentos, realizar maniobras).
Prioridad del requerimiento	Alta

Tabla 3

Requerimiento Funcional Número 2

Identificación del requerimiento	RF02
Nombre del requerimiento	Interacción por Gaze
Descripción del requerimiento	El sistema debe permitir la interacción mediante gaze, de modo que el usuario pueda seleccionar botones u opciones con la mirada.
Prioridad del requerimiento	Alta

Tabla 4

Requerimiento funcional Número 3

Identificación del requerimiento	RF03
Nombre del requerimiento	Autenticación del estudiante

Descripción del requerimiento	El sistema debe permitir la autenticación del estudiante a través de la plataforma SIMA, validando credenciales y su matrícula en el curso.
Prioridad del requerimiento	Alta

Tabla 5

Requerimiento Funcional Número 4

Identificación del requerimiento	RF04
Nombre del requerimiento	Anclaje Espacial
Descripción del requerimiento	La aplicación debe integrar elementos virtuales con un maniquí físico anclado espacialmente, garantizando coherencia en la interacción entre lo real y lo digital.
Prioridad del requerimiento	Alta

Tabla 6

Requerimiento Funcional Número 5

Identificación del requerimiento	RF05
Nombre del requerimiento	Línea del tiempo del Gaze
Descripción del requerimiento	El sistema debe registrar la línea de tiempo de gaze, que almacene las coordenadas de los puntos donde el usuario dirige la mirada a lo largo de la simulación.
Prioridad del requerimiento	Media

Tabla 7

Requerimiento Funcional Número 6

Identificación del requerimiento	RF06
Nombre del requerimiento	Línea del tiempo del contacto de las manos
Descripción del requerimiento	El sistema debe registrar la línea de tiempo de contacto de manos, que indique cuándo y cuánto tiempo el estudiante mantiene una o ambas manos sobre el abdomen del maniquí.
Prioridad del requerimiento	Media

Tabla 8

Requerimiento Funcional Número 7

Identificación del requerimiento	RF07
Nombre del requerimiento	Subida de video
Descripción del requerimiento	La aplicación debe permitir la carga de videos automáticamente a un backend obteniendo un enlace accesible.
Prioridad del requerimiento	Alta

Tabla 9

Requerimiento Funcional Número 8

Identificación del requerimiento	RF08
----------------------------------	------

Nombre del requerimiento	Sistema de control de escena
Descripción del requerimiento	La aplicación debe integrar un sistema de control de escena, encargado de gestionar los eventos clínicos, activar ayudas visuales y regular la progresión de la simulación.
Prioridad del requerimiento	Alta

Tabla 10

Requerimiento Funcional Número 9

Identificación del requerimiento	RF09
Nombre del requerimiento	JSON de datos capturados
Descripción del requerimiento	El sistema debe generar un archivo JSON al finalizar la experiencia, que contenga los datos capturados. Este archivo debe ser enviado y almacenado automáticamente en el backend implementado para la gestión de datos.
Prioridad del requerimiento	Alta

Tabla 11

Requerimiento No Funcional Número 1

Identificación del requerimiento	RNF01
Nombre del requerimiento	Desempeño fluido
Descripción del requerimiento	La aplicación debe garantizar un desempeño fluido en Meta Quest 3, optimizando recursos gráficos y de procesamiento.
Prioridad del requerimiento	Alta

Tabla 12

Requerimiento No Funcional Número 2

Identificación del requerimiento	RNF02
Nombre del requerimiento	Interfaz intuitiva y accesible

Descripción del requerimiento	La interfaz debe ser intuitiva y accesible para estudiantes de medicina, minimizando la curva de aprendizaje.
Prioridad del requerimiento	Alta

Tabla 13

Requerimiento No Funcional Número 3

Identificación del requerimiento	RNF03
Nombre del requerimiento	Diseño escalable
Descripción del requerimiento	El diseño debe ser escalable para permitir la incorporación de nuevos escenarios clínicos en futuras versiones.
Prioridad del requerimiento	Alta

3.3 Diseño del sistema

3.3.1 Diseño modular del sistema

El diseño del sistema se concibió con el objetivo de articular, de manera coherente, los diferentes componentes que conforman la experiencia de simulación en realidad mixta. Este diseño debía responder a los requisitos funcionales previamente definidos y garantizar una interacción fluida entre el estudiante, el entorno virtual, el maniquí físico y los sistemas de soporte que acompañan el proceso de aprendizaje.

La arquitectura general se organizó en módulos lógicos que agrupan funcionalidades afines, con el fin de facilitar la escalabilidad, el mantenimiento y la integración futura de nuevas características. Aunque en la implementación práctica dichas funcionalidades fueron desarrolladas a través de múltiples scripts especializados en Unity y servicios backend

desplegados en contenedores, el diseño se presenta de manera modular para ofrecer una visión de alto nivel del sistema. En este contexto, la arquitectura contempla tanto módulos propios de la aplicación XR como la integración con sistemas externos que cumplen funciones específicas dentro del flujo de la simulación.

Uno de estos sistemas externos es la plataforma SIMA, un sistema de aprendizaje orientado a la creación y visualización de escenarios de realidad extendida para el entrenamiento en procedimientos médicos. SIMA fue desarrollada como resultado del trabajo de grado titulado “Diseño y desarrollo del sistema de creación y visualización de escenarios de realidad extendida para entrenamiento en procedimientos médicos” y, al igual que los trabajos de grado que sirven de insumo para esta propuesta, hace parte del proyecto de investigación “Programa de simulación clínica con tecnologías convergentes para el aprendizaje de la atención primaria de urgencias en salud”. En el marco del presente trabajo, SIMA actúa como un sistema externo de soporte, encargado de la gestión de usuarios y la validación de credenciales para el acceso a la simulación, sin que su arquitectura interna sea modificada por esta propuesta.

La **Figura 1** presenta la arquitectura modular de la aplicación XR y su integración con los servicios externos y el backend de almacenamiento, sirviendo como referencia para la descripción de los módulos que se detalla a continuación. Los módulos definidos son los siguientes:

1. Módulo de autenticación

- Responsable de la validación de usuarios mediante la integración con la plataforma SIMA.
- Permite verificar las credenciales del estudiante y autorizar el inicio de la simulación.

2. Módulo de tutorial

- Introduce al estudiante en el uso de los principales mecanismos de interacción de la aplicación: gestos manuales (pinch), comandos de voz y selección mediante gaze.
- Aunque los gestos básicos son reconocidos de manera nativa por el SDK de Meta Quest, se añadieron guías y validaciones propias para reforzar el aprendizaje de estas interacciones.

3. Módulo de control de escena

- Gestiona la cinemática inicial, la pantalla de selección de momentos y el flujo entre las distintas etapas de la simulación.
- Administra los eventos que se activan en cada momento clínico, garantizando la coherencia entre las acciones del usuario y las respuestas del sistema.
- Las interfaces gráficas que acompañan este módulo, incluyendo menús de navegación, pantallas de selección y elementos de apoyo visual, fueron diseñadas e implementadas por Silvia Catalina Granados Salamanca. Dicho aporte permitió integrar una UI funcional y coherente con los objetivos pedagógicos de la simulación.

4. Módulo de interacción multimodal

- Submódulo de gaze: detecta hacia dónde dirige la mirada el usuario, habilita la selección de botones y genera la línea de tiempo de mirada.
- Submódulo de voz: procesa comandos mediante la integración con Wit.ai y los traduce en acciones dentro del entorno clínico.

- Submódulo de manos: utiliza el SDK de Meta Quest para reconocer gestos, mientras que el proyecto implementó la lógica de detección de contacto con el maniquí, generando la línea de tiempo correspondiente.

5. Módulo de métricas y registro

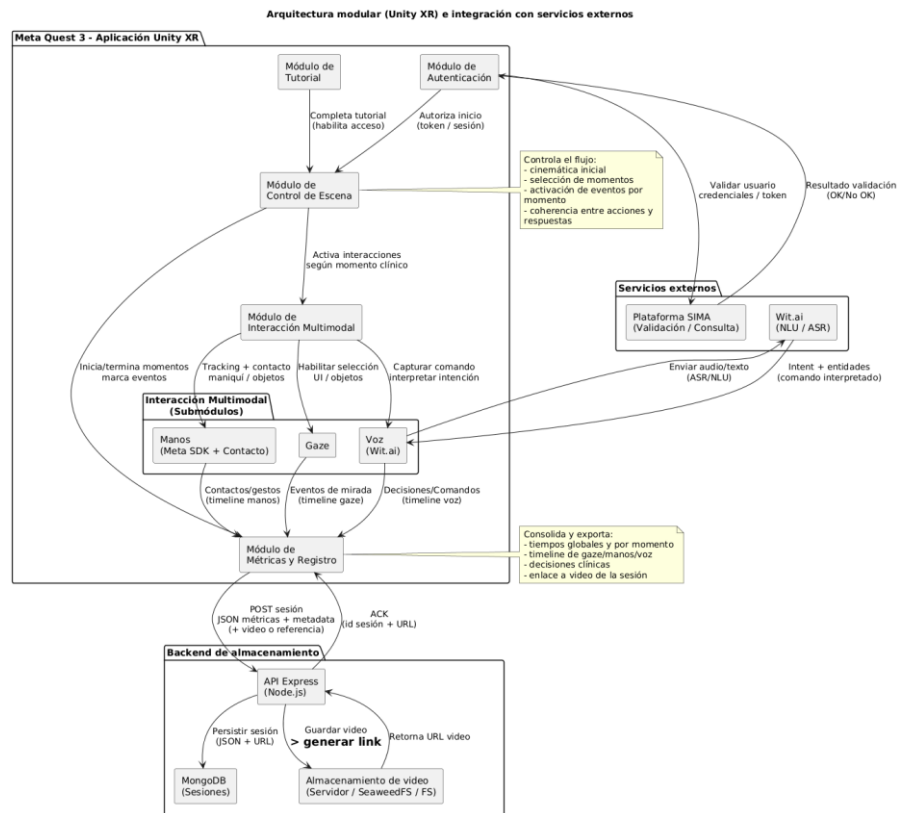
- Captura y organiza los datos generados en la simulación: tiempo global, tiempos por momento, línea de tiempo de gaze, contacto de manos y decisiones clínicas.
- Genera un archivo JSON estructurado con la información de la sesión, incluyendo también el enlace al video grabado durante la práctica.

6. Módulo de backend de almacenamiento

- Desarrollado como parte de este proyecto, utilizando Node.js, Express y MongoDB.
- Desplegado en un contenedor propio, permite recibir y almacenar tanto los archivos JSON como los videos generados en cada simulación.
- Implementa endpoints REST para la creación, consulta y recuperación de simulaciones, garantizando la persistencia y la disponibilidad de los datos.

Figura 1

Arquitectura modular e integración con servicios externos



3.3.2 Diseño de la base de datos

El almacenamiento de la información se implementó en MongoDB, empleando una colección denominada simulaciones. Cada documento de esta colección corresponde a una sesión de simulación realizada por un estudiante y consolida en un único registro los metadatos (identificación del usuario, fecha y curso), las métricas de interacción (tiempos, gaze, contacto de manos), las decisiones clínicas y los recursos multimedia asociados (videos). Dado que el sistema utiliza una base de datos no relacional, no se adopta un modelo entidad-relación tradicional. En su lugar, se implementa un esquema de documento embebido, en el cual toda la información asociada a una sesión de simulación se consolida en un único documento JSON. Este enfoque resulta adecuado para el registro de métricas temporales, eventos de interacción y

recursos multimedia, y permite optimizar tanto la escritura de datos durante la simulación como la posterior consulta y análisis de resultados.

Tabla 14

Estructura del documento en la colección simulaciones

Campo	Tipo	Descripción
_id	ObjectId	Identificador interno de MongoDB.
id_estudiante	string	Identificador/correo del estudiante autenticado.
id_sesion	string	Identificador único de la sesión (único en la colección).
fecha_simulacion	string (ISO-date sugerido)	Fecha de la simulación.
hora_inicio	string (hh:mm:ss)	Hora local de inicio
nombre_curso	string	Curso/contexto académico.
tiempo_total	Number (segundos)	Duración total de la sesión.

decisiones_medicas	array<string>	Frases/commits clínicos reconocidos por voz.
url_videos	array<string>	URL(s) del/los videos subidos (grabación de pantalla).
momentos	array<float>	Tiempo empleado por momentos
gaze_timeline	array<obj>	Muestras cronometradas de mirada.
gaze_dwell	array<obj>	Resumen por objetivo observado
hand_contact	array<obj>	Intervalos cronometrados de contacto
hand_contact_summary	array<obj>	Resumen por zona/condición.

Fuente: Contenido original propiedad del responsable del proyecto

La **Tabla 14** presenta la estructura del documento en la colección simulaciones, detallando los campos principales, su tipo de dato, la fuente que los genera y su propósito dentro del sistema. Con el fin de complementar la descripción tabular de la estructura de datos, la **Figura 2** presenta el diagrama UML del modelo de datos implementado. En este diagrama, el documento de la colección simulaciones se representa como una única clase, en concordancia con el enfoque de almacenamiento no relacional adoptado, donde cada instancia corresponde a una sesión completa de simulación clínica.

Figura 2

UML del modelo de datos implementado



3.3.3Diseño del backend

El backend del sistema se diseñó como una API RESTful implementada en Node.js con el framework Express, y desplegada en contenedores Docker junto con los servicios de persistencia de datos y almacenamiento de archivos. Su función principal es servir como puente entre la aplicación de realidad mixta en Meta Quest 3 y la base de datos MongoDB, garantizando la persistencia de información estructurada y la gestión de archivos de video generados en cada simulación.

El backend integra las siguientes tecnologías:

- Express: para la definición de rutas y manejo de solicitudes HTTP.
- MongoDB (driver oficial): para la conexión y operaciones CRUD sobre la colección simulaciones.

- Multer: para la recepción de archivos enviados por el cliente.
- Axios + FormData: para la comunicación con SeaweedFS, sistema distribuido de almacenamiento de objetos utilizado en la gestión de los videos de las simulaciones.
- Dotenv: para la configuración de variables de entorno (URI de conexión a MongoDB, token de autenticación, puertos y rutas de servicios).

El backend se despliega mediante Docker Compose, donde se definen tres servicios principales:

1. Servicio de base de datos: instancia de MongoDB expuesta en el puerto 27017 interno, utilizada para almacenar los documentos JSON generados en cada simulación.
2. Servicio de API: instancia de Express expuesta en el puerto 3000, que gestiona la lógica de negocio y las rutas de comunicación con la aplicación cliente.
3. Servicio de almacenamiento de videos: compuesto por un SeaweedFS master y uno o varios SeaweedFS volume servers, que permiten la subida de los videos y devuelven una URL que se integra en los documentos de simulación almacenados en MongoDB.

Todos los servicios se encuentran conectados mediante una red interna definida en Docker, lo que permite la comunicación directa entre contenedores por nombre de servicio (por ejemplo, mongo_simulacion).

La API incluye un middleware de autenticación que verifica un token estático enviado en la cabecera de las solicitudes HTTP. De esta manera, se asegura que únicamente clientes autorizados puedan registrar simulaciones o subir archivos.

La API cuenta con dos endpoints principales:

1. POST /api/simulacion:
 - Entrada: recibe el documento JSON con la información de la simulación, incluyendo metadatos del estudiante, métricas (líneas de tiempo de gaze y manos), decisiones médicas y enlaces a los videos.
 - Proceso: valida la estructura mínima del objeto y lo inserta en la colección simulaciones de MongoDB.
 - Salida: confirmación de almacenamiento y el identificador del documento insertado.
2. POST /upload-video
 - Entrada: recibe un archivo binario correspondiente a la grabación de pantalla generada en la Meta Quest 3.
 - Proceso: Solicita al SeaweedFS master la asignación de un fid y la dirección de un volume server disponible. Envía el archivo al volume server correspondiente mediante una solicitud HTTP con axios.
 - Salida: devuelve la URL de acceso al archivo, que posteriormente se integra en el campo url_videos[] del documento de simulación.

El proceso de comunicación entre cliente y backend sigue la secuencia descrita a continuación:

1. El estudiante completa la simulación en Meta Quest 3.
2. La aplicación inicia la subida de video al endpoint /upload-video. El backend lo envía a SeaweedFS y devuelve la URL de acceso.
3. La aplicación construye el documento JSON final, integrando la URL del video y todas las métricas recolectadas.

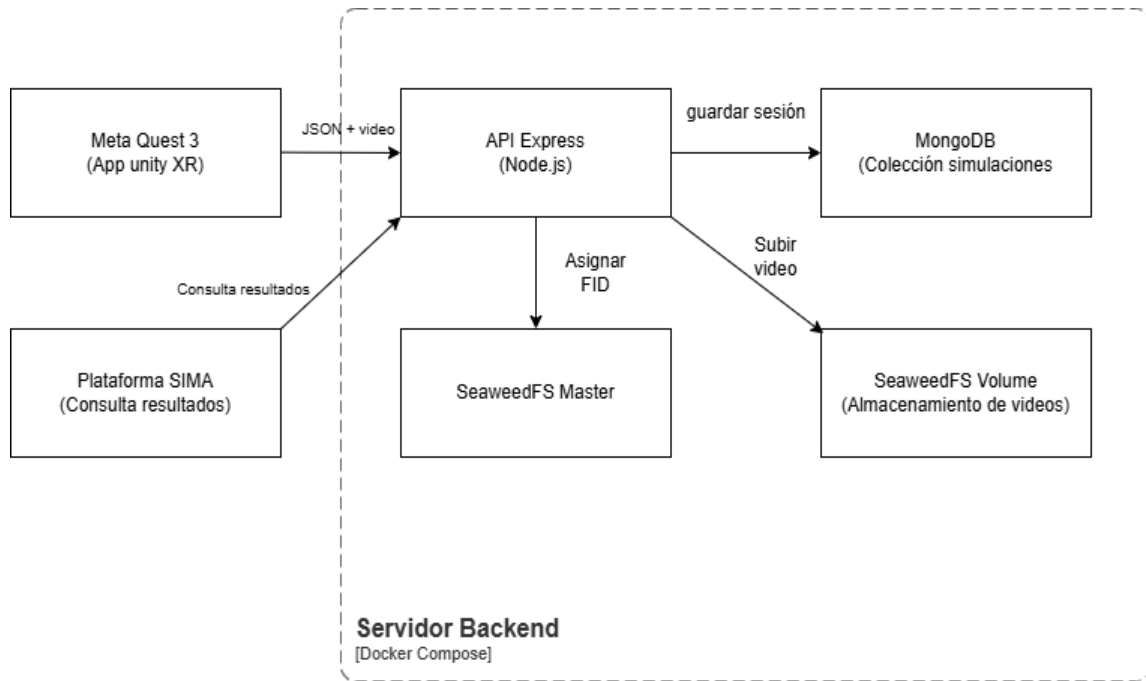
4. La aplicación envía este documento al endpoint `/api/simulacion`, donde se almacena en la colección simulaciones de MongoDB.

De esta forma, el backend garantiza que la información de cada sesión quede centralizada y disponible para posteriores consultas o análisis. Asimismo, este diseño permite que la plataforma SIMA consuma los recursos almacenados en el backend, de modo que los docentes puedan acceder a los resultados de los estudiantes en cualquier momento y utilizar esta información para fines de retroalimentación académica y evaluación.

La **Figura 3** presenta el despliegue del backend en contenedores Docker. La aplicación en Meta Quest 3 se comunica con la API Express desarrollada en Node.js, la cual persiste la información estructurada en MongoDB y gestiona la subida de videos a través de SeaweedFS. Asimismo, la plataforma SIMA consume estos recursos mediante la API, permitiendo a los docentes consultar los resultados de los estudiantes.

Figura 3

Despliegue Backend.



3.3.4 Diagrama de casos de uso

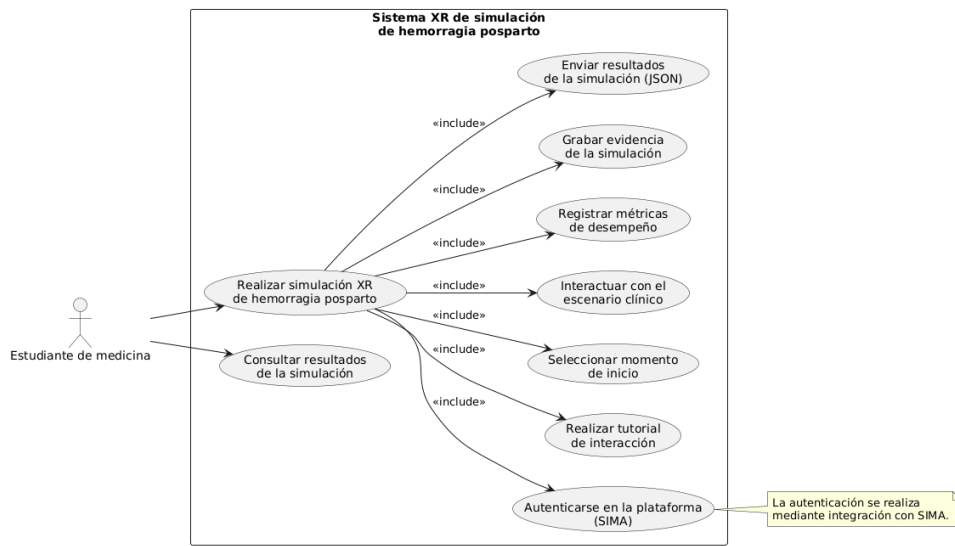
El diagrama de casos de uso **Figura 4** muestra las interacciones del estudiante con la aplicación de realidad extendida desarrollada para Meta Quest 3. Los casos de uso incluyen desde la autenticación inicial en la plataforma SIMA hasta la ejecución de la simulación y el envío de resultados. El sistema permite al estudiante realizar un tutorial para familiarizarse con los mecanismos de interacción, seleccionar el momento de inicio, ejecutar la simulación clínica utilizando comandos de voz y gaze, grabar la sesión y finalmente enviar al backend los resultados consolidados.

De esta manera, el alcance del sistema se limita a la experiencia de entrenamiento del estudiante y a la recolección de datos, dejando explícitamente fuera de este trabajo el desarrollo

de las funcionalidades de consumo y análisis de resultados por parte de los docentes a través de SIMA.

Figura 4

Diagrama de casos de uso.



3.3.5 Arquitectura de la aplicación

La arquitectura general del sistema desarrollado se encuentra representada en la **Figura 5**, la cual fue elaborada por un profesor líder del proyecto como parte de la documentación de alto nivel de este. Este diagrama integra de manera visual los componentes que conforman la solución y las interacciones entre ellos. En la arquitectura se distinguen dos grandes bloques:

1. Front-end (Unity en Meta Quest 3): implementado en el motor Unity, contiene los elementos de la simulación, tales como la interfaz de usuario, el control de momentos, el comportamiento de los NPCs, las animaciones y sonidos de ambientación, además de los mecanismos de interacción mediante comandos de

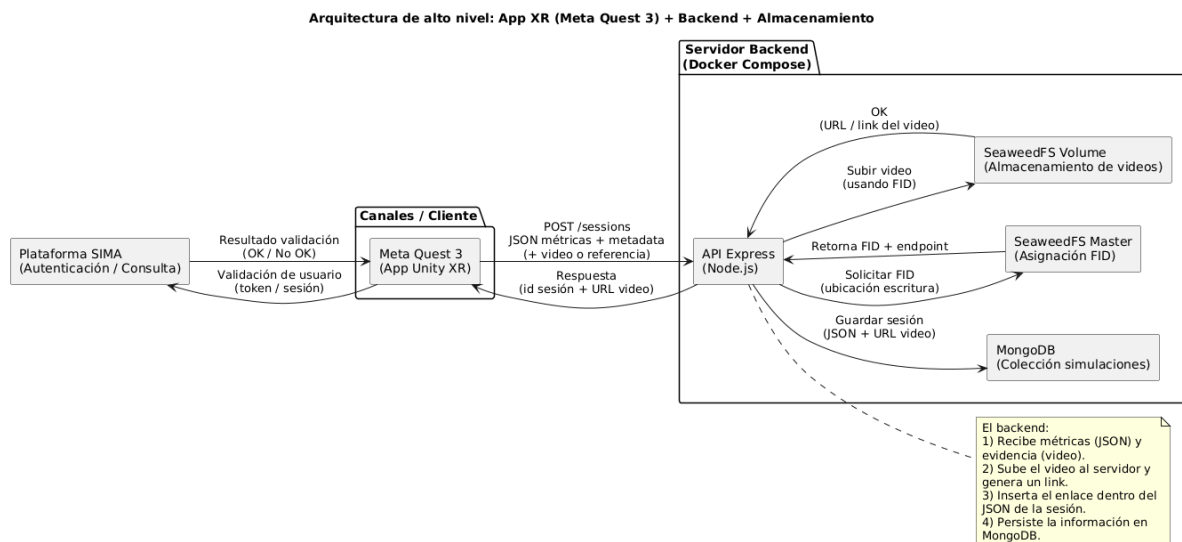
voz y gaze. En este nivel también se capturan las métricas y datos de evaluación del estudiante durante la experiencia.

2. Back-end (Servidor Ubuntu): conformado por la API REST desarrollada en Node.js/Express y desplegada en contenedores junto con MongoDB y SeaweedFS. Este bloque gestiona la recepción de datos, el almacenamiento de las métricas en la base de datos y la administración de los videos grabados durante la simulación.

La arquitectura refleja la separación clara entre el cliente XR (responsable de la experiencia inmersiva y la captura de métricas) y el backend (encargado de la persistencia y disponibilidad de la información). Este diseño modular facilita la escalabilidad del sistema, permite su integración con plataformas externas como SIMA y asegura que los resultados de las simulaciones queden registrados para su posterior análisis.

Figura 5

Arquitectura de alto nivel de la aplicación.



3.4 Desarrollo iterativo

El desarrollo de la aplicación se llevó a cabo mediante un enfoque ágil e incremental, caracterizado por ciclos cortos de trabajo, revisiones semanales y pruebas periódicas con usuarios. Este esquema permitió integrar de manera progresiva las funcionalidades, identificar problemas técnicos de manera temprana y garantizar que la solución estuviera alineada tanto con los objetivos pedagógicos como con las limitaciones tecnológicas.

El proceso se organizó a través de reuniones semanales de seguimiento, en las cuales se evaluaban los avances alcanzados, se discutían los ajustes pendientes y se definían las prioridades para la siguiente iteración. Este mecanismo de retroalimentación continua permitió mantener la trazabilidad con los requisitos y asegurar que las decisiones de diseño respondieran a las necesidades reales del proyecto.

Además, en etapas intermedias del desarrollo se realizaron pruebas con estudiantes de medicina y con la doctora y docente Adriana Inés González Guitián, del departamento de Ginecobstetricia de la escuela de Medicina de la UIS, quien aportó su experiencia clínica en la validación del caso y de las interacciones implementadas. Estas pruebas permitieron recoger observaciones sobre la usabilidad de la aplicación, la pertinencia del guion clínico y la claridad de las interfaces, lo que resultó fundamental para introducir mejoras antes de avanzar a fases posteriores.

En términos funcionales, las iteraciones se enfocaron en los siguientes hitos principales:

- Primera iteración: integración de la autenticación con la plataforma SIMA, implementación del tutorial de interacción (gestos de pinch, uso de gaze y comandos de voz) y creación del flujo inicial de acceso a la simulación.
- Segunda iteración: incorporación del guion clínico en forma de momentos secuenciales, con control del tiempo global de la simulación y registro de métricas básicas de interacción.
- Tercera iteración: desarrollo de los módulos de captura de métricas avanzadas (línea de tiempo de gaze y contacto de manos) y generación del archivo JSON consolidado con las decisiones del estudiante.
- Cuarta iteración: implementación de la captura de pantalla en video, su integración con el backend para la subida a SeaweedFS y la inclusión del enlace de acceso en el JSON final.
- Quinta iteración: optimización de rendimiento en Meta Quest 3, ajustes de usabilidad y correcciones derivadas de las pruebas internas y externas.

La **Figura 6** muestra una de las sesiones de validación en la que la doctora Adriana Inés González Guitián probó la aplicación, lo que evidencia el carácter colaborativo y validado del proceso de desarrollo.

Figura 6

Sesión de validación con la doctora Adriana Inés González Guitián

**3.5 Pruebas técnicas y de usabilidad**

Para garantizar la pertinencia del sistema desarrollado, se plantearon dos tipos de pruebas: una prueba de funcionamiento y una prueba de usabilidad con usuarios finales.

La prueba de funcionamiento consistió en verificar que los requisitos funcionales y no funcionales establecidos en la sección 3.2 se implementaron correctamente en el prototipo. Para ello, se elaboró una lista de verificación en la cual se relaciona cada requisito con el método de prueba correspondiente y el resultado esperado. Esta verificación se llevó a cabo con la participación de usuarios finales (estudiantes de medicina) y con el apoyo de la doctora Adriana Inés González Guitián, quien supervisó el cumplimiento de los aspectos clínicos del caso.

Adicionalmente, se aplicó una prueba de usabilidad basada en el instrumento System Usability Scale (SUS), ampliamente utilizado para medir la facilidad de uso de sistemas

interactivos. En este caso, los estudiantes participantes respondieron el cuestionario después de utilizar la aplicación en Meta Quest 3, lo que permitió obtener una puntuación cuantitativa de usabilidad y generar observaciones cualitativas sobre la experiencia. Los resultados de ambas pruebas son presentados y analizados en el Capítulo 4.

3.6 Evaluación y retroalimentación

La etapa de evaluación tiene como propósito analizar los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento y usabilidad descritas en la sección anterior. Dicho análisis permitió valorar en qué medida la aplicación cumple con los requisitos definidos y con los objetivos de pertinencia pedagógica establecidos en el caso clínico.

La retroalimentación derivada de estas pruebas sirvió como insumo para identificar posibles mejoras en la aplicación, tanto a nivel de funcionalidades técnicas como en aspectos de experiencia de usuario. De este modo, se busca asegurar que el sistema no solo sea funcional, sino también útil y comprensible para los estudiantes de medicina que lo utilicen en su proceso de entrenamiento.

4. Resultados

4.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo del sistema de simulación en realidad extendida para la atención de la hemorragia postparto. Se exponen, en primer lugar, los avances relacionados con la implementación de la aplicación en las gafas Meta Quest 3, incluyendo las principales funcionalidades desarrolladas. Posteriormente, se muestran los resultados derivados del funcionamiento del backend y del almacenamiento de información,

así como la verificación del cumplimiento de los requisitos funcionales y no funcionales definidos en la etapa de análisis.

Finalmente, se presentan los resultados de la prueba de usabilidad aplicada a estudiantes de medicina mediante la escala System Usability Scale (SUS), junto con una discusión de los hallazgos más relevantes en relación con los objetivos planteados.

4.2 Implementación de la aplicación

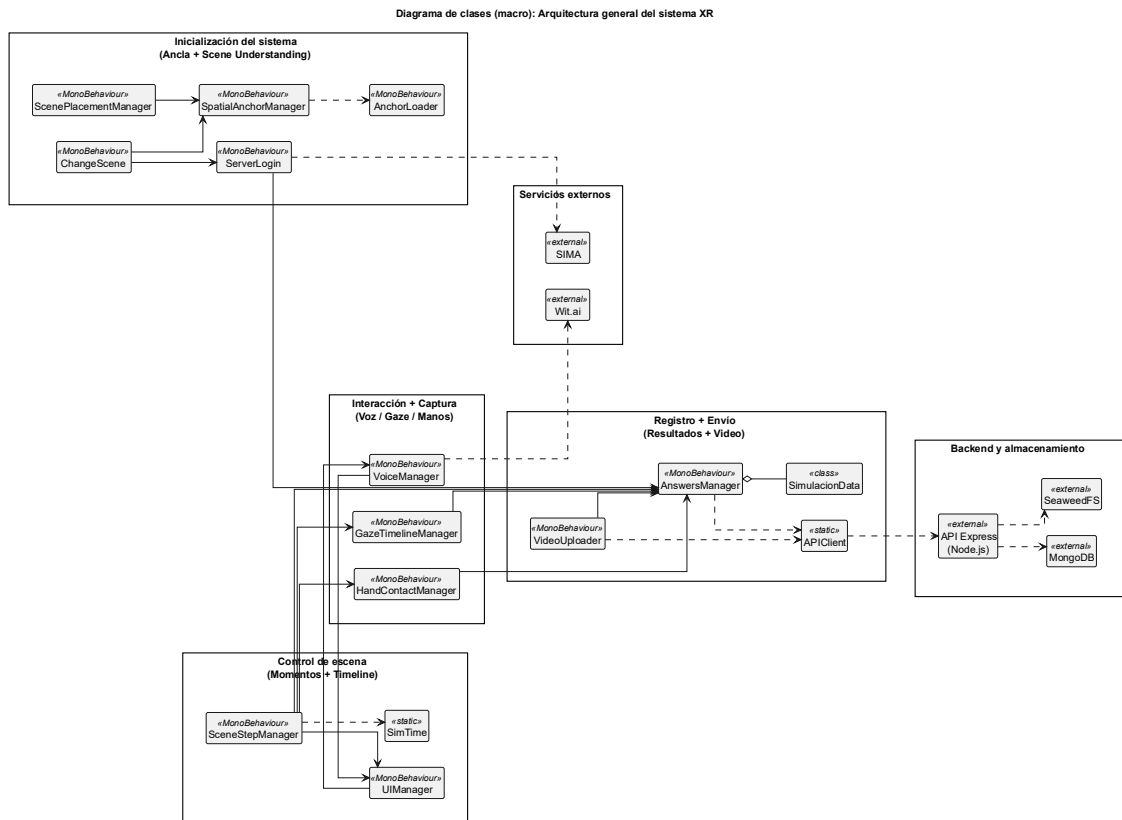
4.2.1 Arquitectura general de la aplicación

La implementación de la aplicación XR se estructuró a partir de una arquitectura modular que permite desacoplar el control de la escena, la interacción multimodal, la captura de métricas y la integración con servicios externos.

Esta arquitectura facilita la escalabilidad del sistema, la trazabilidad de las sesiones clínicas y la persistencia de los resultados generados durante la simulación. La **Figura 7** presenta el diagrama de clases a nivel macro, en el cual se identifican los principales módulos del sistema y sus relaciones.

Figura 7

Diagrama de clases a nivel macro de la arquitectura general del sistema XR

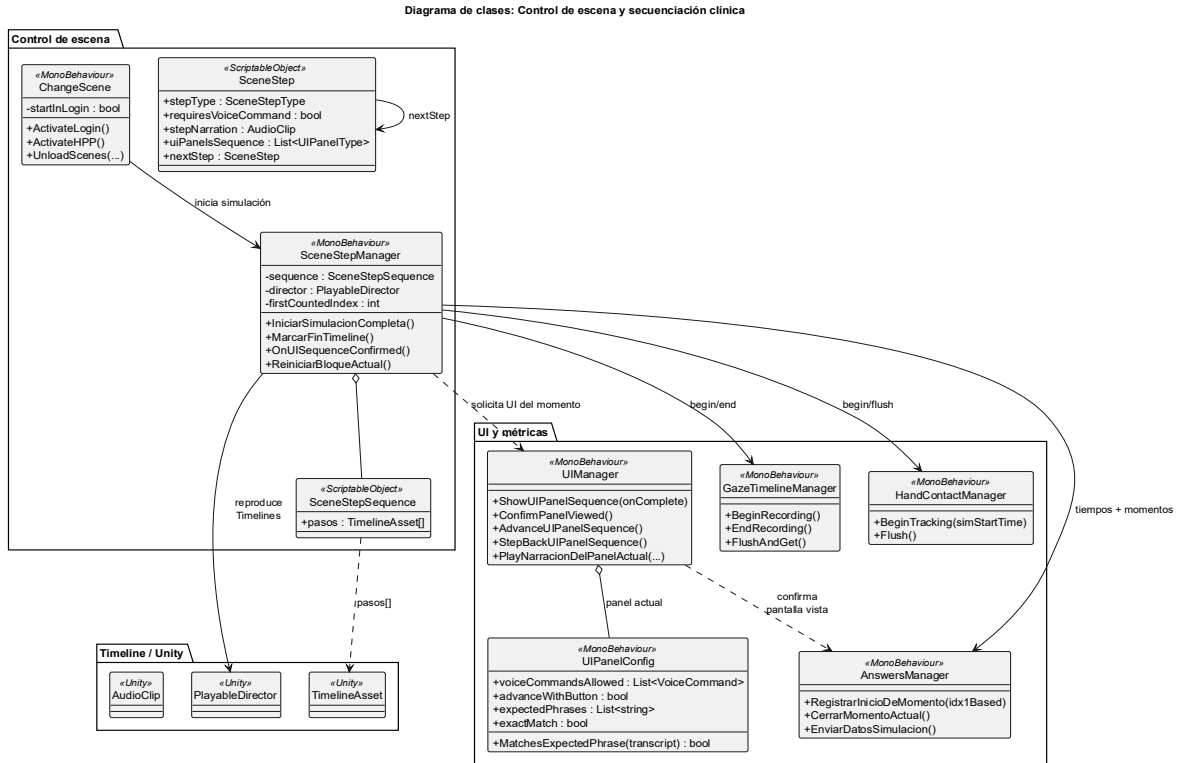


4.2.2 Sistema de control de escena

El sistema de control de escena es el responsable de coordinar la progresión entre los distintos momentos clínicos de la simulación. La **Figura 8** muestra el diagrama de clases correspondiente a este módulo, en el cual se observa la orquestación de momentos, la sincronización con las líneas de tiempo y la activación de las interfaces y métricas asociadas a cada fase de la simulación.

Figura 8

Diagrama UML del sistema de control de escenas y secuenciación clínica

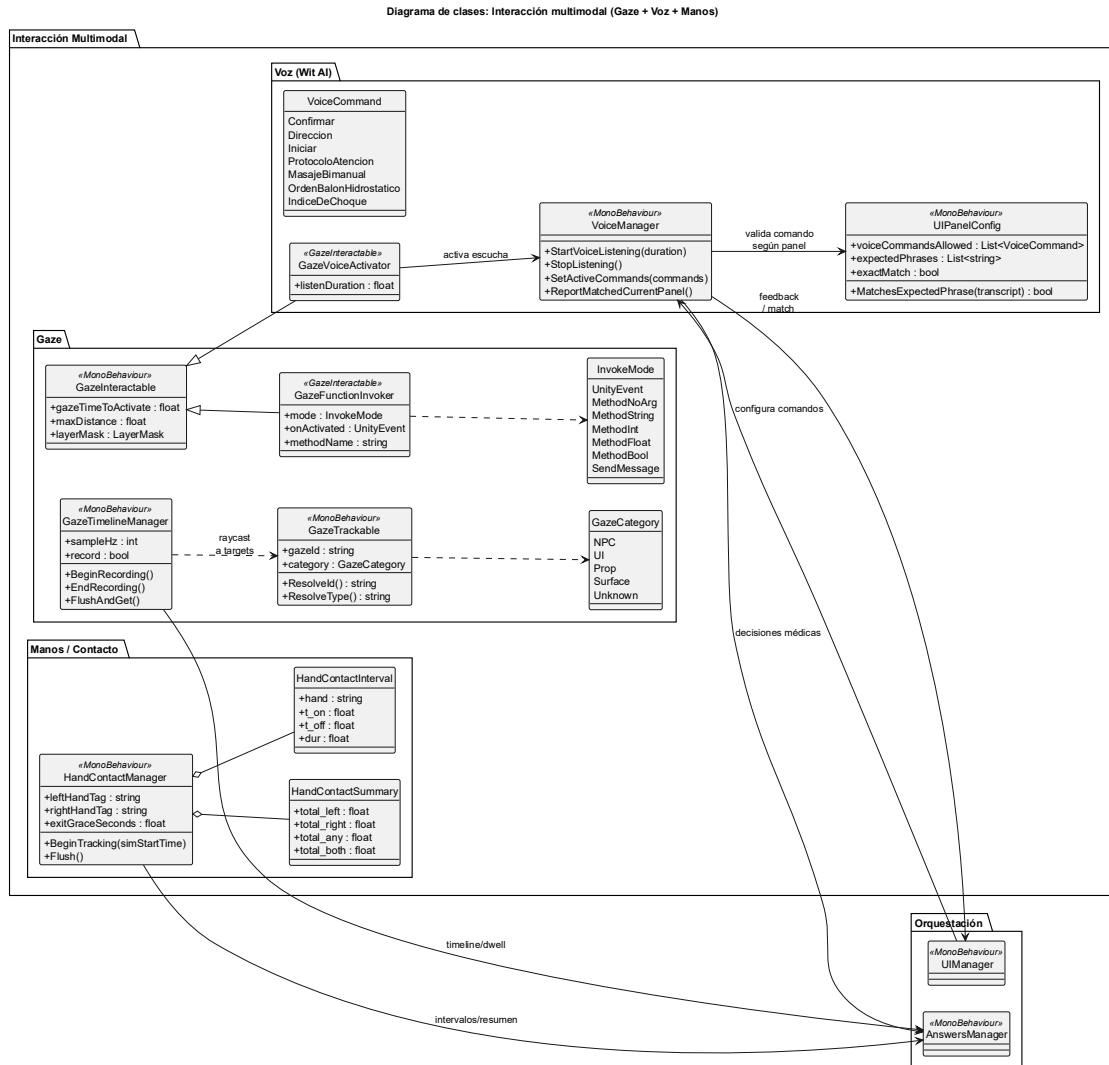


4.2.3 Sistemas de Interacción Multimodal

La simulación incorpora un esquema de interacción multimodal que combina detección de mirada (gaze), comandos de voz y contacto de manos. La **Figura 9** presenta el diagrama de clases del módulo de interacción multimodal, mostrando los componentes encargados de capturar eventos de interacción, validar comandos según el contexto activo y reportar métricas asociadas al desempeño del estudiante.

Figura 9

Diagrama UML de los sistemas de interacción multimodal gaze, voz y manos



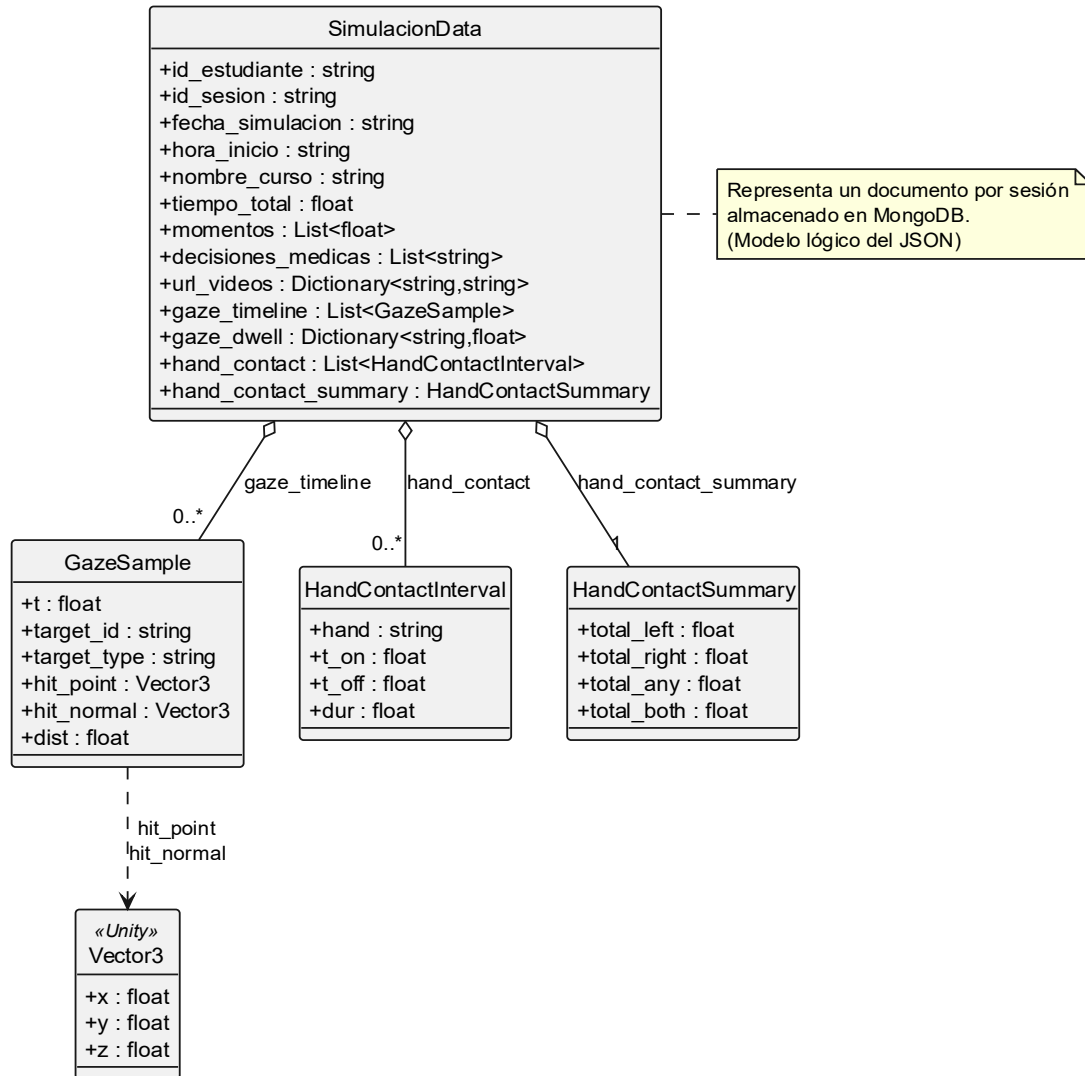
4.2.4 Modelo de datos de resultados de simulación

la **Figura 10** presenta el modelo de datos utilizado para el almacenamiento de los resultados de cada sesión de simulación. Este diagrama describe la estructura del documento persistido en MongoDB, el cual consolida información del estudiante, métricas temporales, decisiones clínicas y evidencias audiovisuales generadas durante la experiencia.

Figura 10

Diagrama UML del modelo de datos lógico en Unity

Diagrama UML del modelo lógico de datos (documento MongoDB: simulaciones/resultados)



4.2.5 Implementación funcional de la aplicación

La aplicación desarrollada para el dispositivo Meta Quest 3 integra las funcionalidades definidas en los requisitos y materializa el caso clínico descrito en el Capítulo 3. Su implementación incluyó tanto la construcción del flujo pedagógico como la resolución de retos técnicos propios de los entornos de realidad extendida.

- Tutorial de interacción

Al iniciar la experiencia, el estudiante accede a un módulo de tutorial en el cual se le instruye sobre las principales formas de interacción: el gesto de pinch, la activación de botones mediante gaze y el uso de comandos de voz. Este componente fue diseñado para garantizar que el usuario adquiriera las habilidades básicas necesarias antes de enfrentarse a la simulación clínica. La **Figura 11**, **Figura 12** y **Figura 13** muestran las pantallas del tutorial en orden secuencial, iniciando por el gesto del pinch, pasando a la interacción de gaze y finalizando con los comandos de voz.

Figura 11

Pantalla tutorial de interacción por pinch.

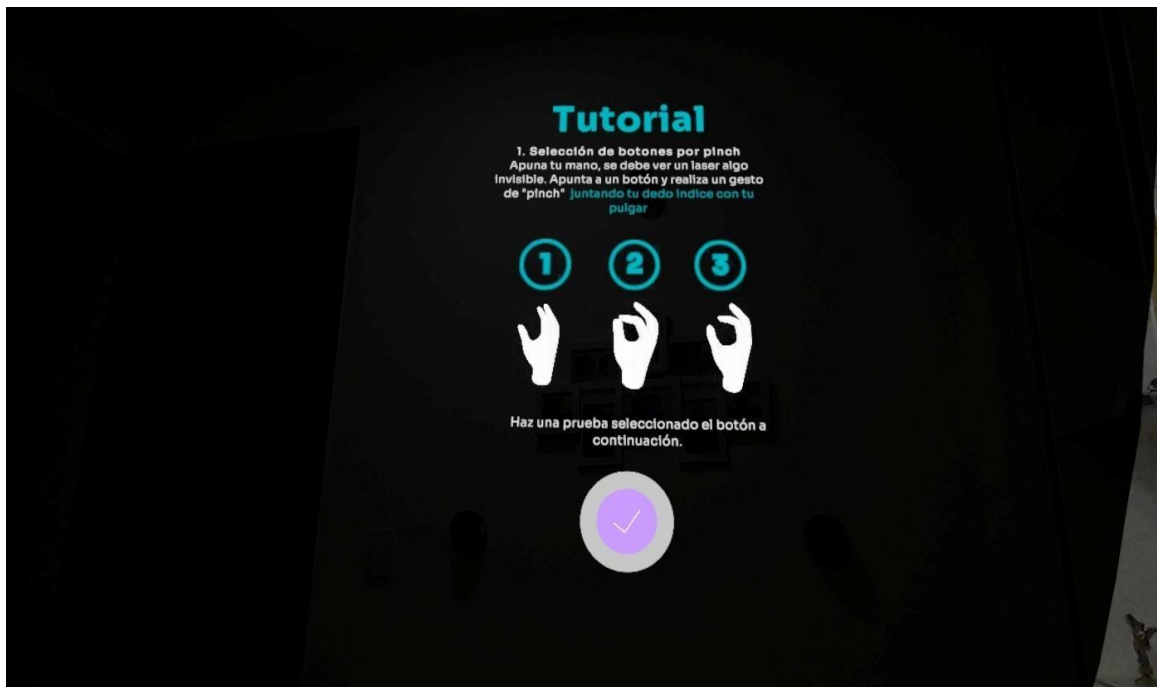


Figura 12

Pantalla tutorial de interacción por Gaze.

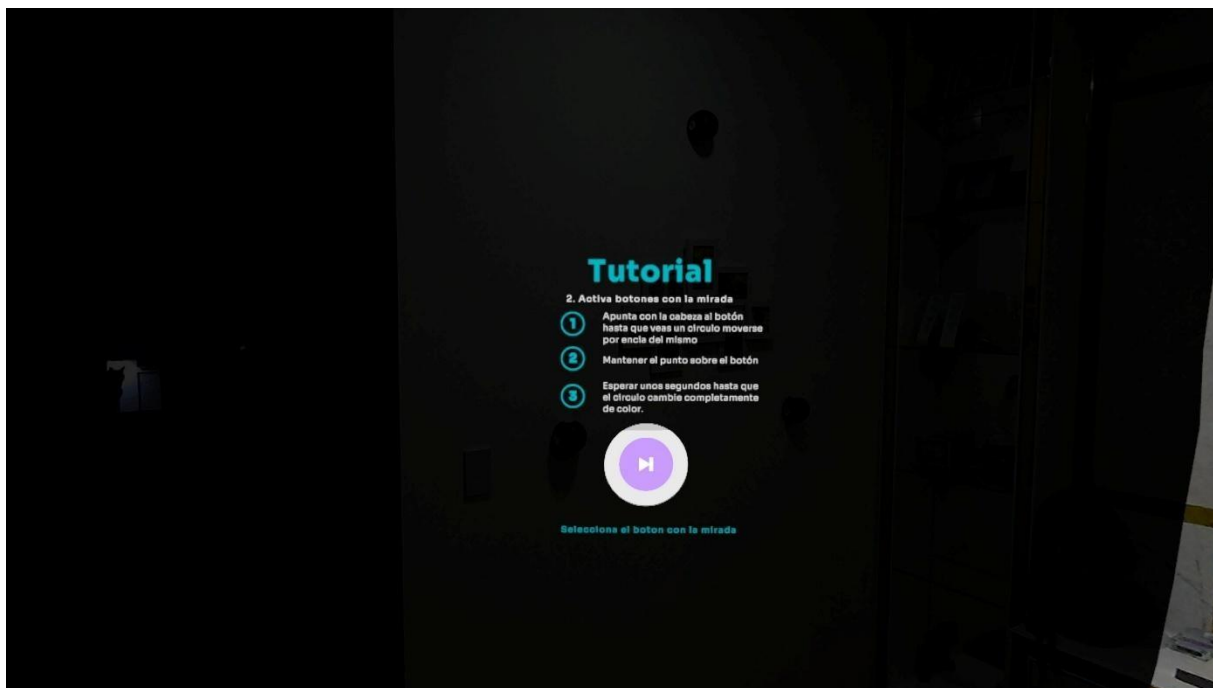
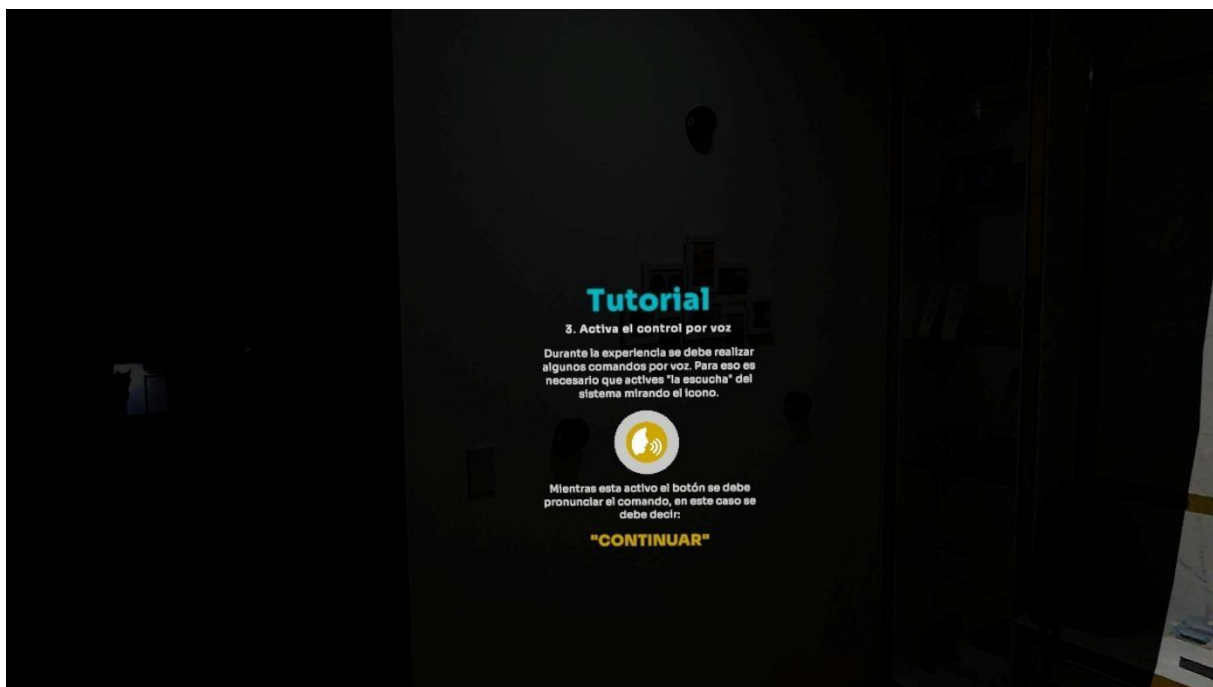


Figura 13

Pantalla tutorial de interacción por comandos de voz.

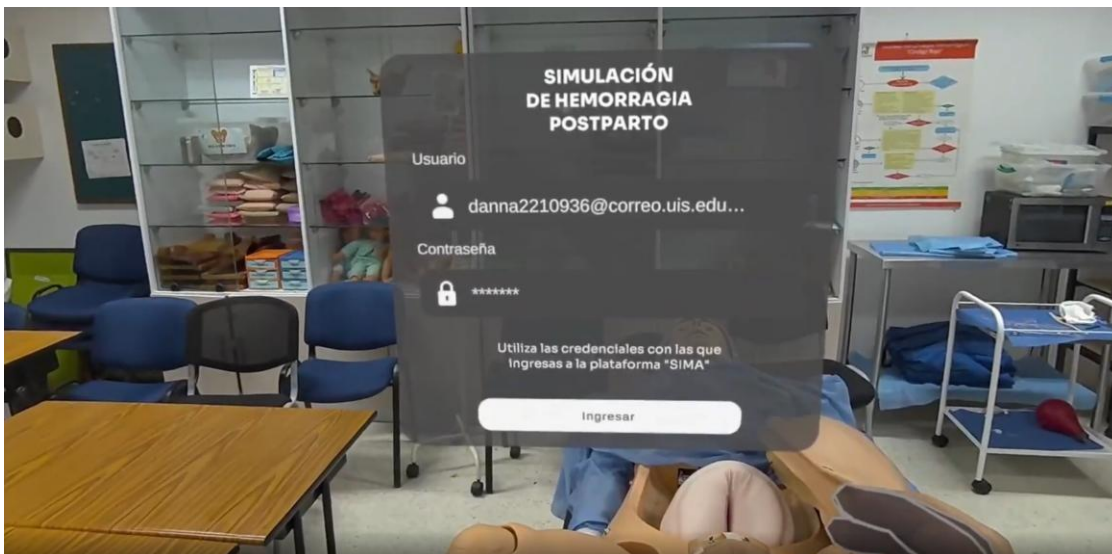


- Autenticación con la plataforma SIMA

Una vez completado el tutorial, el estudiante debe autenticarse en la plataforma académica SIMA, que valida si se encuentra registrado en la base de datos institucional. Solo tras la validación positiva, el usuario puede acceder a la simulación, asegurando la trazabilidad de las sesiones. La **Figura 14** muestra la interfaz de inicio de sesión.

Figura 14

Autenticación con un usuario de prueba.



- Uso de Unity TimeLine para la secuencia de animaciones

Para la construcción de la simulación clínica se utilizó el sistema Timeline de Unity, una herramienta que permite organizar y reproducir de forma secuencial animaciones, sonidos y eventos. La elección de esta tecnología se fundamentó en su maleabilidad: resulta sencillo modificar, reordenar o sustituir animaciones sin necesidad de rehacer la lógica de programación, lo que aceleró significativamente el proceso iterativo del proyecto.

El Timeline funciona como una línea de tiempo audiovisual en la que se disponen pistas

(tracks). Cada pista puede controlar un elemento distinto de la escena, como:

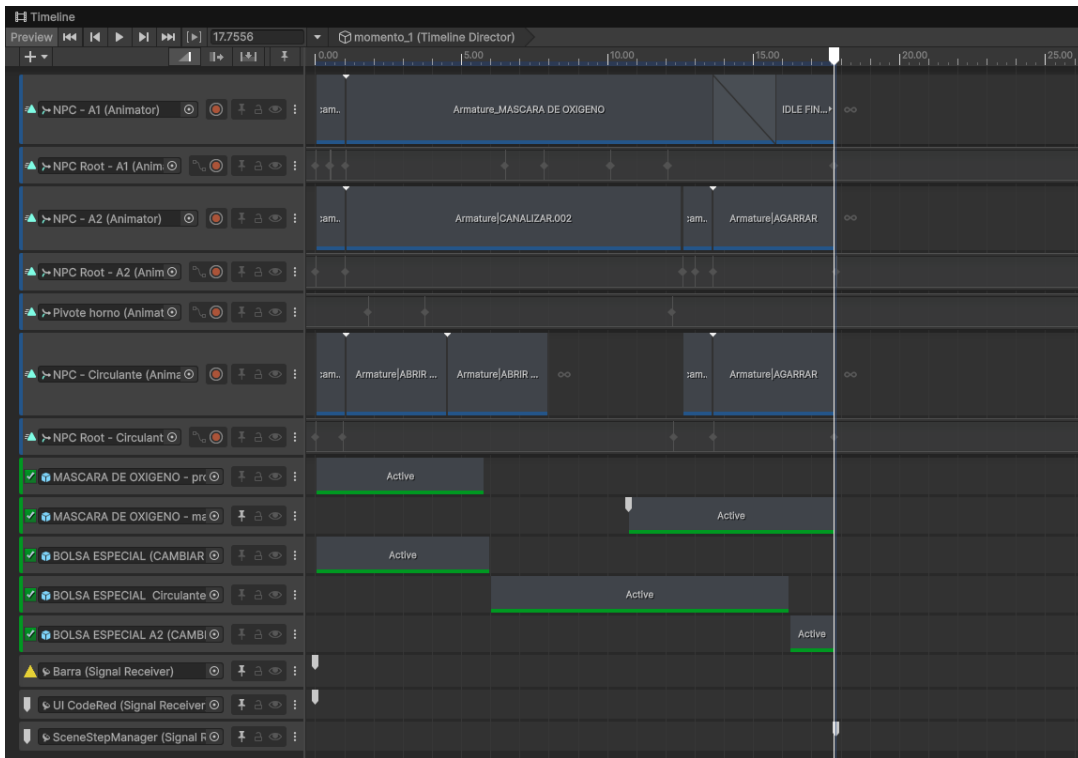
- Animaciones de personajes no jugadores (NPCs): gestos, desplazamientos o acciones clínicas.
- Objetos de la escena: activación de modelos 3D, aparición de instrumentos o variación de luces.
- Narración y audio de apoyo: reproducción sincronizada con los eventos visuales.
- Eventos personalizados: disparadores que informan al sistema de control de escena (SceneStepManager) que un momento ha finalizado o que se debe activar una interacción del estudiante.

Durante el desarrollo, cada momento clínico se representó mediante un TimelineAsset independiente, lo que permitió mantener una estructura modular. Así, la simulación se compone de varios fragmentos que pueden ser activados, pausados o reiniciados de manera controlada según las decisiones del usuario.

En conjunto, la adopción del sistema Timeline proporcionó una solución práctica y eficiente para sincronizar animaciones, audio y eventos, garantizando que la experiencia del estudiante resultara fluida y coherente con los objetivos educativos del caso clínico. La **Figura 15** presenta el timeline de Unity utilizado para coordinar las animaciones de los NPC y la activación de objetos durante un momento clínico específico. En este timeline se observa la sincronización entre las acciones de los personajes, la aparición de elementos clínicos y los estados activos del entorno, permitiendo controlar la secuencia temporal de la simulación.

Figura 15

Timeline de unity mostrando un momento de la simulación.



- Posicionamiento del ancla de la escena
 Uno de los principales retos técnicos del proyecto consistió en lograr la correcta alineación entre el entorno virtual y el biomodelo físico que representa el abdomen de la paciente. Para este propósito, se empleó la tecnología Scene Understanding incluida en los dispositivos Meta Quest 3.

Esta funcionalidad permite identificar y etiquetar automáticamente los elementos del entorno físico (paredes, piso, techo, mesas, sillas, etc.). En el caso de la simulación desarrollada, se aprovechó la etiqueta Table para reconocer la superficie plana de la camilla del paciente. A partir de esta superficie, se estableció un ancla espacial que actúa como punto de referencia persistente entre sesiones. La **Figura 16** muestra un ejemplo visual

de dicho etiquetado (Meta Developers, 2026). Por su parte **Figura 17** presenta la detección del entorno físico y la generación de una malla espacial desde la vista del usuario en Meta Quest 3. Esta malla representa la geometría del espacio real capturada por el sistema de percepción del dispositivo y se emplea como base para la colocación de anclas espaciales. Dichas anclas permiten fijar de manera estable los objetos virtuales y el escenario clínico, asegurando la coherencia espacial y la estabilidad visual a lo largo de la experiencia de simulación.

Figura 16

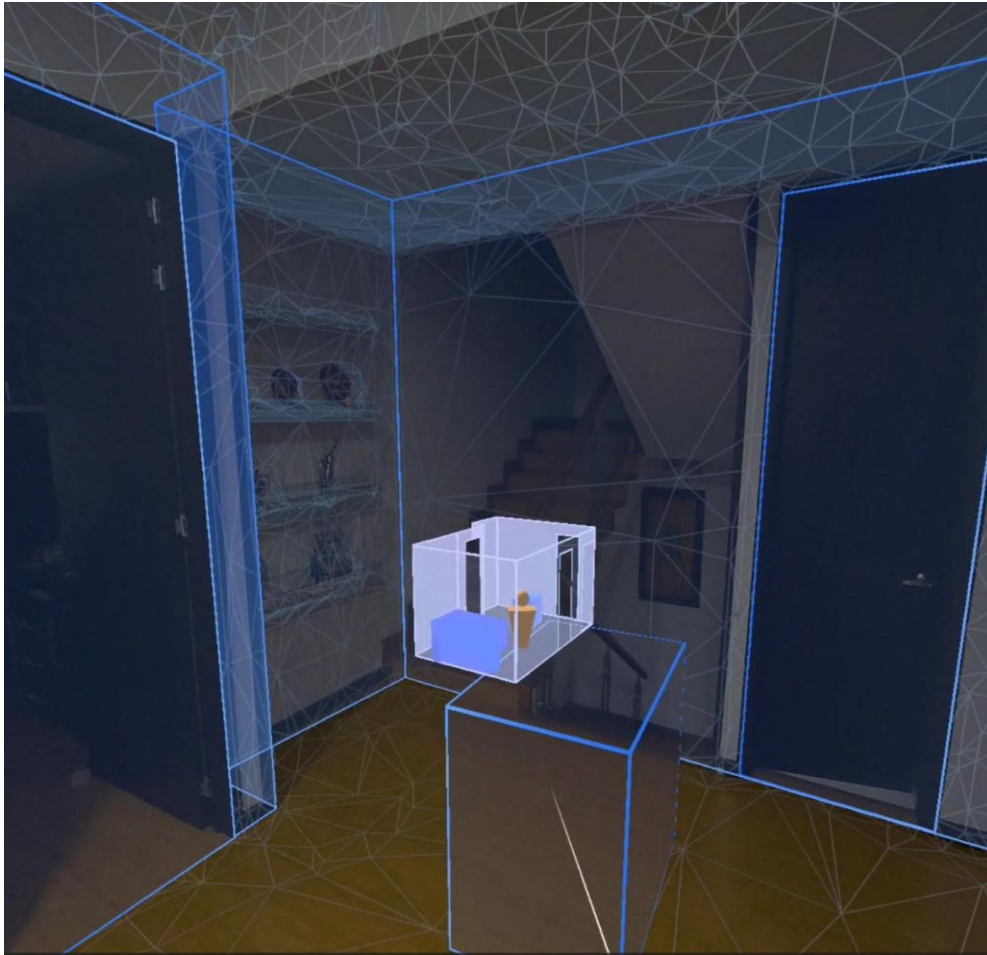
Ejemplo de etiquetado del entorno físico con Scene Understanding en Meta Quest 3.



Nota. Tomado de Meta Developers (2025).

Figura 17

Scene understanding de las Meta Quest 3, detección de una habitación.



El procedimiento de colocación del ancla se realiza de la siguiente manera:

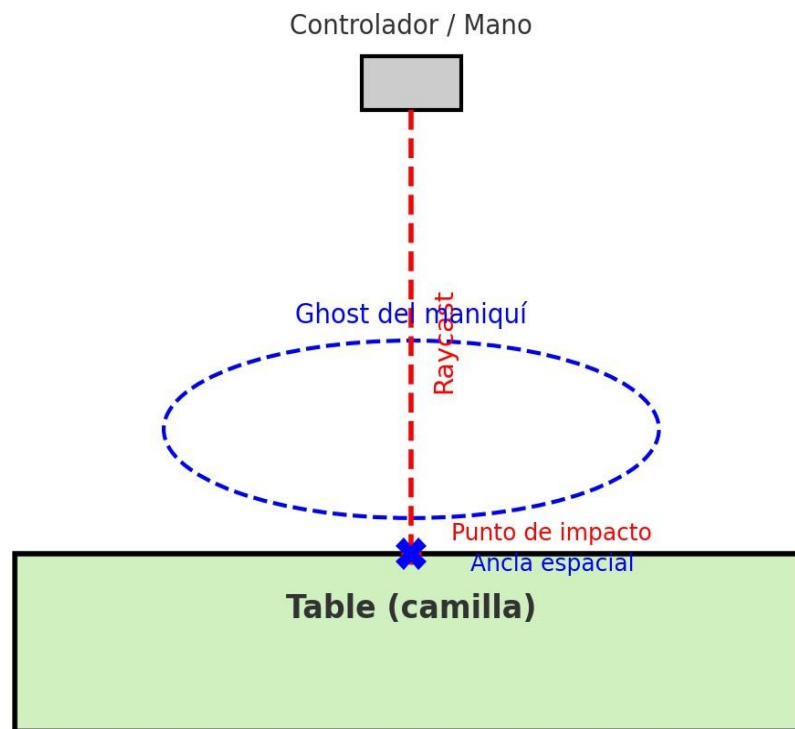
1. El usuario, utilizando el controlador o la mano derecha, proyecta un raycast hacia abajo en dirección a la superficie etiquetada como Table. Al controlador o mano lo sigue un ghost (modelo transparente) que es de color rojo por defecto, indicando la posición del ancla.
2. Cuando se detecta el punto de impacto, la aplicación cambia el ghost del maniquí a color verde, indicando una posición válida para el posicionamiento del ancla.

- Una vez confirmada la ubicación, se fija el ancla espacial, que queda almacenada de manera persistente para posteriores sesiones, evitando repetir el proceso en cada uso.

Figura 18

Proceso de colocación del ancla espacial en la superficie etiquetada como “Table” para la simulación de hemorragia posparto mediante técnicas de Scene Understanding.

Colocación del ancla espacial con Scene Understanding



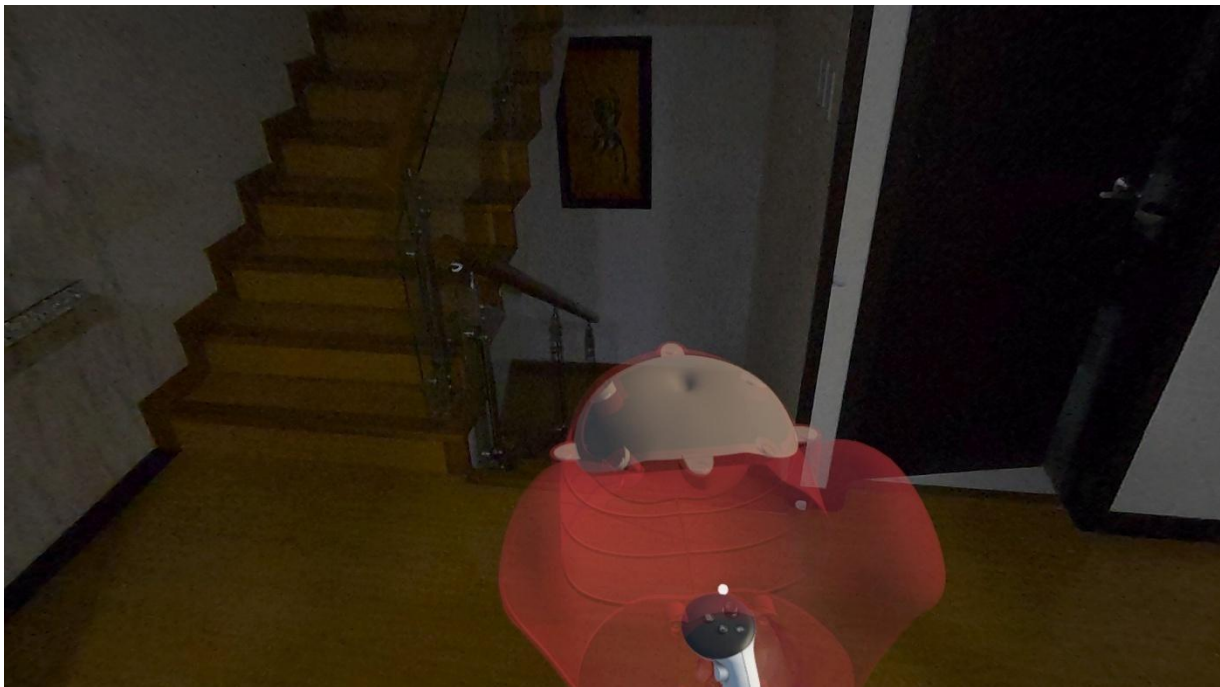
Este mecanismo fue diseñado específicamente para resolver uno de los problemas centrales abordados en este trabajo de grado: la correcta alineación y estabilidad espacial del escenario virtual de simulación clínica con respecto al entorno físico real y al biomodelo utilizado en la enseñanza del protocolo de atención para hemorragia posparto. En particular, esta solución

permitió fijar de manera consistente la posición del maniquí virtual sobre la camilla física, asegurando que las interacciones del estudiante se desarrollaran en un contexto espacial coherente y repetible.

Asimismo, este enfoque resolvió la limitación técnica impuesta por los dispositivos Meta Quest 3, los cuales restringen el acceso directo a la cámara y, por ende, impiden el uso de algoritmos tradicionales de visión por computador. Al aprovechar las capacidades de Scene Understanding, fue posible garantizar la coherencia espacial entre el entorno físico y los elementos virtuales sin requerir procesamiento de imagen adicional, contribuyendo directamente al objetivo pedagógico del proyecto.

Figura 19

Colocación de ancla, ghost del maniquí en rojo al detectar un lugar incorrecto

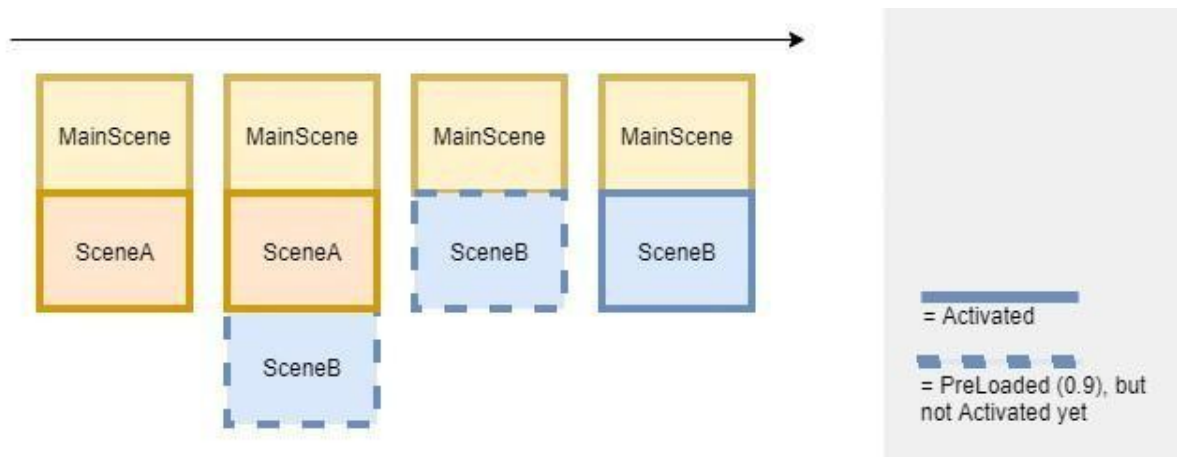


- Optimización de tiempos de carga mediante escenas aditivas

Otro desafío importante fue la optimización de los tiempos de carga de la aplicación. Para abordarlo, se adoptó una arquitectura basada en escenas aditivas en Unity. Se estableció una escena base que contiene los elementos comunes a toda la aplicación (managers, lógica principal y configuraciones globales), mientras que los módulos específicos (tutorial, login y simulación) se desarrollaron en escenas independientes que se cargan de forma aditiva. El proceso de carga aditiva en Unity permite mantener una escena base activa y, sobre ella, cargar otras escenas de forma progresiva. En la **Figura 20** se muestra un esquema tomado de la documentación comunitaria de Unity (Unity Technologies, 2020) que ilustra el mecanismo de preloading y activación de escenas.

Figura 20

Ejemplo del funcionamiento de escenas aditivas en Unity, mostrando el proceso de pre-carga y activación progresiva.



Nota. Tomado de Unity Technologies.

Esta estrategia redujo significativamente el tiempo de inicialización y evitó sobrecargas al inicio de la aplicación, permitiendo una experiencia más fluida para el usuario.

Grabación y envío de video

Durante la simulación, en momentos específicos, la aplicación solicita al estudiante la grabación de pantalla. Una vez generada, esta grabación se sube automáticamente al servidor de almacenamiento SeaweedFS, que devuelve un enlace único de acceso al archivo. Dicho enlace se incluye posteriormente en el registro de resultados de la sesión. La **Figura 21** muestra la interfaz de usuario que se despliega en los momentos donde se hace necesario una grabación de video.

Figura 21

Interfaz de usuario que notifica al estudiante el inicio del proceso de grabación de pantalla durante la simulación.

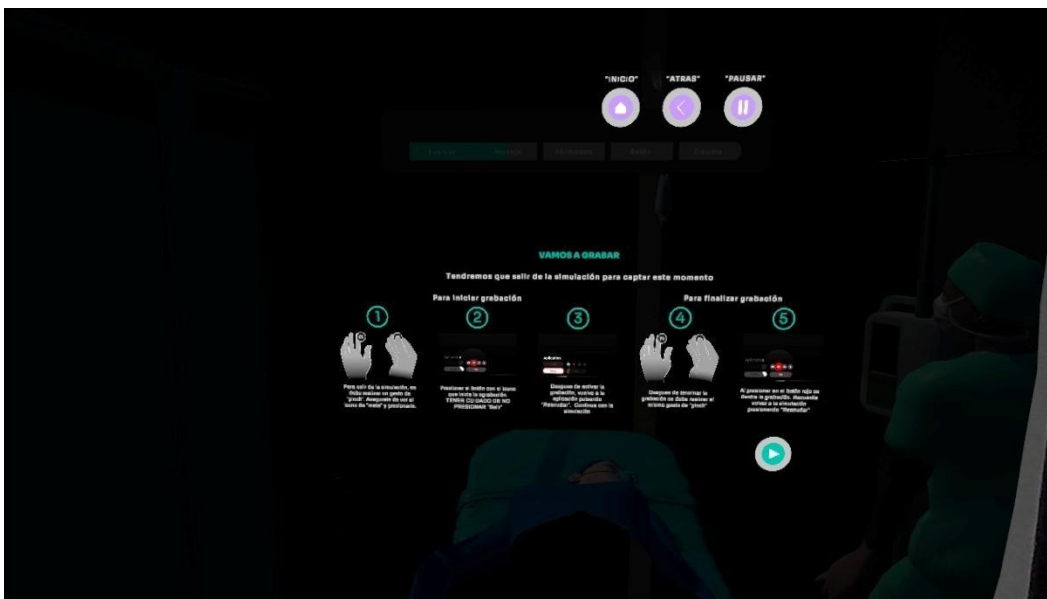
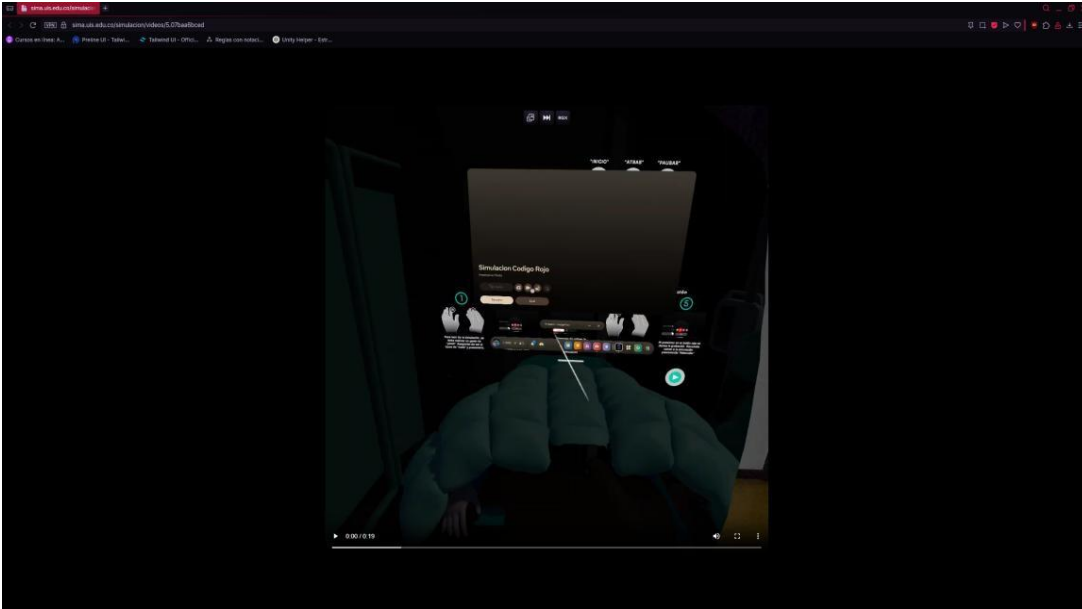


Figura 22

Visualización del video generado, cargado correctamente en el servidor de almacenamiento y accesible mediante un enlace web desde un navegador.



Fuente: Contenido original propiedad del responsable del proyecto

- **Línea de tiempo del Gaze**
 Uno de los elementos más importantes de la aplicación es la posibilidad de registrar hacia dónde dirige la mirada el estudiante durante la simulación. Este seguimiento se realiza proyectando un rayo invisible desde la cámara del dispositivo Meta Quest 3, que permite identificar sobre qué objeto o área de la escena se concentra la atención en cada instante.

- **Registro de la mirada**

El sistema realiza un muestreo continuo de la dirección de la vista a una frecuencia predefinida, generando una línea de tiempo de la mirada. Cada evento registrado incluye el instante de la simulación y el objeto observado, lo que permite reconstruir la trayectoria de atención visual del estudiante.

Cuando el usuario observa un elemento relevante, como un panel de instrucciones, un personaje o el maniquí que representa a la paciente, el sistema lo identifica y lo almacena en la base de datos. En caso de que no haya un objeto específico en el campo visual, se registra igualmente un evento indicando que la mirada estaba “al vacío”.

Figura 23

Diagrama que explica el gaze desde una vista superior.



- **Resumen de fijaciones**

Además de la línea de tiempo completa, el sistema calcula un resumen de fijaciones. Este indicador expresa la cantidad de tiempo total que el estudiante mantuvo la vista en un mismo elemento. Por ejemplo, cuánto tiempo estuvo observando el panel de signos vitales,

el área del masaje bimanual o un botón de la interfaz. Un ejemplo real puede ser observado en la Figura 24

- **Integración con la simulación**

Los registros de la mirada se almacenan junto con las demás métricas de la sesión en un archivo estructurado (JSON), que luego es enviado al backend. De esta manera, el docente puede acceder posteriormente, a través de la plataforma SIMA, a un reporte donde se evidencian tanto la secuencia detallada de atención como el tiempo total invertido en cada componente de la simulación. La Figura 21 muestra un resumen del total de los tiempos por categoría, métrica adicional enviada al servidor.

- Relevancia pedagógica

Este mecanismo permite responder preguntas clave para la enseñanza y que pueden permitir mejorar la aplicación a futuro, como:

¿El estudiante prestó suficiente atención a los elementos críticos del procedimiento?

¿Ignoró áreas importantes que podrían comprometer el éxito clínico?

¿Cuánto tiempo le tomó identificar la información necesaria para actuar?

En conjunto, la línea de tiempo de la mirada y el resumen de fijaciones constituyen herramientas valiosas para comprender el proceso de atención del estudiante y complementar la retroalimentación sobre su desempeño.

Figura 24

Fragmento real de timeline del gaze

```

},
{
  "t": 189.0955,
  "target_id": "gaze_microfono",
  "target_type": "UI",
  "hit_point": {
    "x": 0.06538581,
    "y": 0.3853014,
    "z": 0.5173819
  },
  "hit_normal": {
    "x": 0,
    "y": 1,
    "z": 0
  },
  "dist": 0.7024132
},
{
  "t": 189.1374,
  "target_id": "gaze_microfono",
  "target_type": "UI",
  "hit_point": {
    "x": 0.06891372,
    "y": 0.3853014,
    "z": 0.523509145
  },
  "hit_normal": {
    "x": 0,
    "y": 1,
    "z": 0
  },
  "dist": 0.7061434
},
{
  "t": 189.187729,
  "target_id": "momento3_4_select",
  "target_type": "UI",
  "hit_point": {
    "x": 0.07262737,
    "y": 0.3855874,
    "z": 0.538258433
  },
  "hit_normal": {
    "x": -0.06235114,
    "y": 0,
    "z": -0.998054266
  },
  "dist": 0.716153145
},
}
    
```

Figura 25

gaze_dwell, resumen de fijaciones del gaze

```

" gaze_dwell": {
  "cortina": 3.41696167,
  "NPC_asistente_1": 32.6959229,
  "signos_vitales": 6.05484,
  "momento1_0": 0.444824219,
  "UI_continuar": 55.7501526,
  "momento1_1": 3.269104,
  "porta_bolsas_de_suero": 81.2384338,
  "gaze_narracion": 5.40329,
  "momento1_2": 1.2973938,
  "momento1_3": 10.2061768,
  "momento1_4": 3.85809326,
  "mesa_instrumentos": 1.375061,
  "momento1_5_select": 26.5798645,
  "gaze_microfono": 23.2839355,
  "NPC_paciente": 12.50943,
  "momento1_6_select": 4.45870972,
  "momento2_0_More_A": 3.87011719,
  "momento3_0": 4.50964355,
  "momento3_1": 9.053192,
  "NPC_asistente_2": 9.648468,
  "momento3_2": 17.1630249,
  "momento3_3": 14.5401,
  "camilla_madre": 3.15777588,
  "momento3_4_select": 3.14996338,
  "momento4_0": 1.20907593,
  "momento4_1": 5.025635,
  "moemento4_2": 5.89230347,
  "momento4_4": 24.50122,
  "momento4_5": 7.95935059,
  "momento5_0": 1.39086914,
  "momento5_1": 10.8377075,
  "momento5_2": 1.59814453,
  "momento5_3": 1.29290771,
  "momento6_0": 1.29644775,
  "momento6_1": 6.89489746,
  "momento6_2": 8.354614,
  "Momento6_3": 7.91094971,
  "momento6_4_select": 8.206909,
  "momento7_0": 4.99884033,
  "momento7_1": 0.987915039,
  "momento7_2": 1.057251,
  "Momento8_0_more_A": 2.69812,
  "momento9_0": 2.16583252,
  "momento9_1": 3.45001221,
  "momento9_2": 0.696960449,
  "momento10_0": 3.24517822,
  "momento10_1": 6.053894,
  "momento10_2_select": 55.52881,
  "momento11_0": 5.2512207
},

```

- Línea de tiempo detección de las manos

Con el propósito de analizar la interacción manual del estudiante sobre el maniquí, la aplicación registra los periodos en los que cada mano permanece dentro de la zona de abdomen.

Esta zona se modela como un área de detección (trigger), y cada vez que una mano entra o sale de ella se crea un intervalo de contacto con marca de tiempo de inicio y fin.

- Registro de contacto

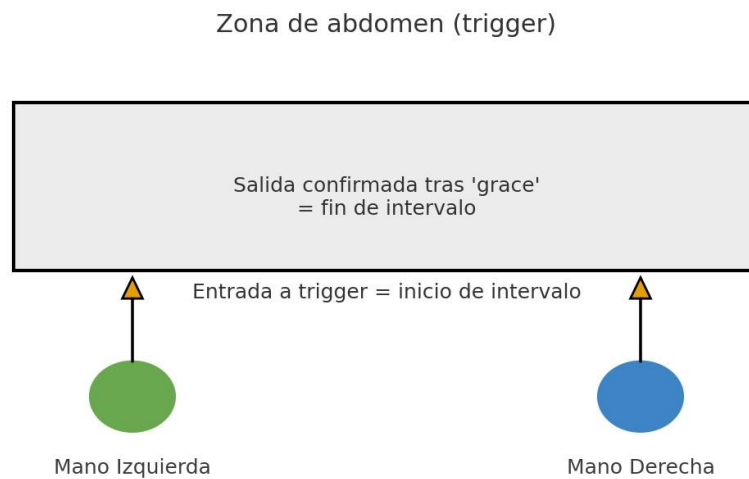
Cuando una mano ingresa al área del abdomen, el sistema abre un intervalo para esa mano.

Cuando la mano sale, el intervalo se cierra. Para evitar falsos positivos por pequeños saltos del seguimiento, se utiliza un tiempo de gracia muy corto antes de confirmar la salida.

El resultado es una línea de tiempo por mano, que permite visualizar períodos de contacto durante la práctica (ver “Línea de tiempo de contacto”).

Figura 26

Diagrama que muestra el funcionamiento de la zona trigger



○ Resumen por sesión

A partir de los intervalos se calculan indicadores simples y de fácil interpretación:

Tiempo total mano izquierda y tiempo total mano derecha.

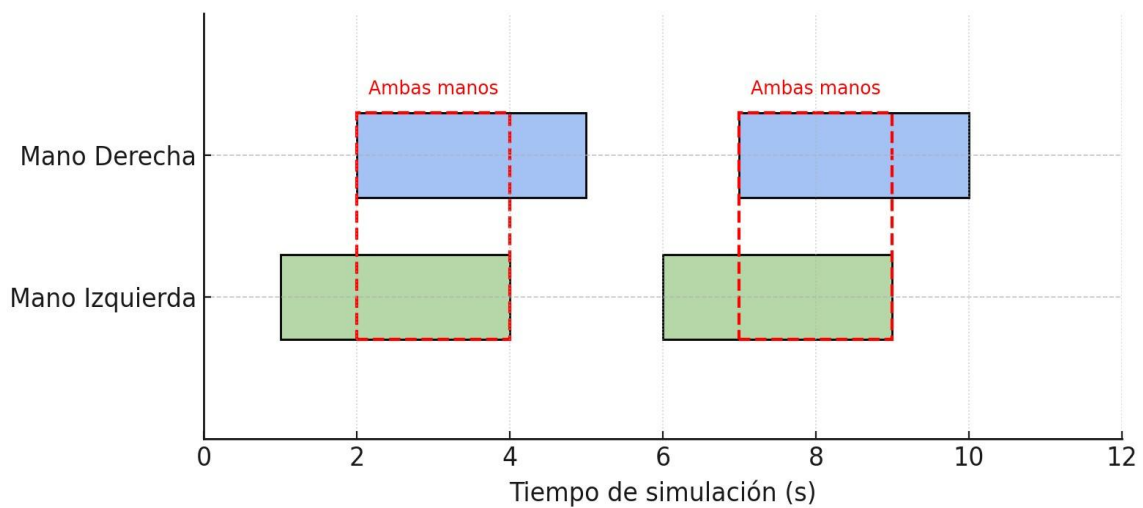
Tiempo con al menos una mano en contacto.

Tiempo con ambas manos en contacto simultáneo.

Para efectos de claridad y lectura, estos totales pueden entenderse como una “función a trozos” a lo largo del tiempo: en cada tramo la aplicación evalúa si hay 0, 1 o 2 manos dentro del área de abdomen y acumula el valor correspondiente (ninguna, alguna, o ambas). Esto facilita relacionar la técnica aplicada (por ejemplo, masaje bimanual) con la evidencia objetiva de contacto.

Figura 27

Línea de tiempo de la detección de manos.



- Integración con el registro de la sesión

Los intervalos detectados y el resumen de tiempos se incorporan al JSON de la simulación que se envía al backend, junto con el resto de métricas (mirada, tiempos por momento, decisiones clínicas y videos). De este modo, el docente puede consultar no solo si el estudiante ejecutó la maniobra, sino cuánto tiempo efectivo mantuvo el contacto manual necesario en cada situación.

Figura 28

Fragmento del JSON que muestra la línea de tiempo de detección de las manos y el resumen del tiempo total

```

},
{
  "hand": "Left",
  "t_on": 152.615265,
  "t_off": 153.581665,
  "dur": 0.966400146
},
{
  "hand": "Right",
  "t_on": 153.255249,
  "t_off": 154.360229,
  "dur": 1.10498047
},
{
  "hand": "Left",
  "t_on": 154.115265,
  "t_off": 155.142487,
  "dur": 1.02722168
},
{
  "hand": "Left",
  "t_on": 216.095245,
  "t_off": 217.124023,
  "dur": 1.02877808
},
{
  "hand": "Right",
  "t_on": 241.135223,
  "t_off": 253.30072,
  "dur": 12.1654968
},
{
  "hand": "Right",
  "t_on": 256.695221,
  "t_off": 325.278839,
  "dur": 68.58362
}
],
"hand_contact_summary": {
  "total_left": 37.3388,
  "total_right": 91.4883652,
  "total_any": 119.481529,
  "total_both": 9.345634
}
},

```

- Relevancia pedagógica

Permite validar técnicas que requieren contacto sostenido, como el masaje bimanual.

Apoya la retroalimentación docente, al mostrar duraciones y solapamientos de manos en momentos críticos.

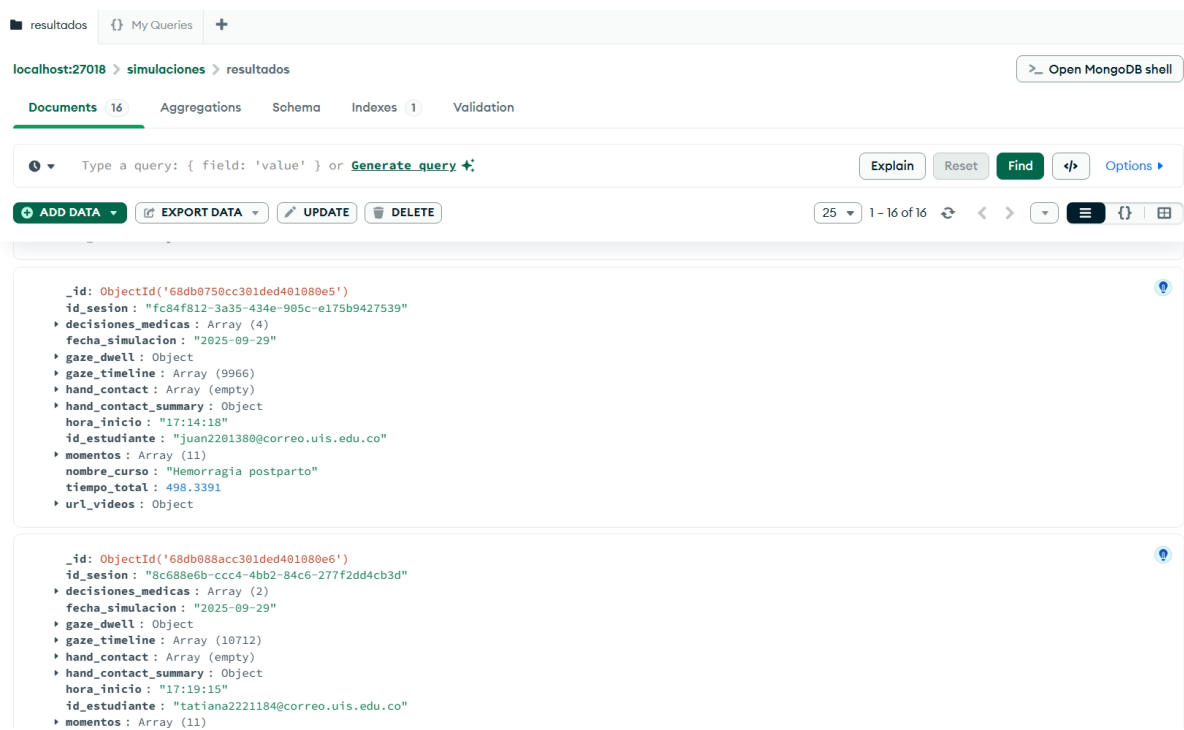
Facilita el análisis conjunto con otras métricas: por ejemplo, ¿mientras realizaba la maniobra, el estudiante atendía a la interfaz o a los signos vitales?

- Generación y envío del archivo JSON

Al finalizar la experiencia, la aplicación consolida todos los datos en un archivo JSON que incluye: información de identificación del estudiante, fecha y hora de la sesión, decisiones clínicas expresadas, métricas de tiempo, líneas de tiempo de gaze y contacto manual, y el enlace al video almacenado. Este archivo se envía al backend desarrollado en Express para su almacenamiento en la base de datos MongoDB, garantizando su persistencia y disponibilidad para análisis posteriores.

Figura 29

Documentos de sesiones de simulación almacenados en la colección simulaciones de MongoDB.



4.3 Reconocimiento de voz con Wit.ai

Uno de los objetivos específicos de este proyecto consistió en implementar un sistema de reconocimiento de voz que permitiera a los estudiantes interactuar con la simulación utilizando comandos verbales. Esta funcionalidad se desarrolló mediante la integración de Wit.ai, una plataforma de procesamiento de lenguaje natural que interpreta en tiempo real las órdenes dictadas por el usuario.

Para lograrlo, fue necesario realizar dos etapas complementarias:

- Configuración en la plataforma Wit.ai:

En el sitio web de Wit.ai se definieron manualmente los comandos clínicos relevantes para el protocolo de hemorragia postparto. Cada comando se registró como un “intent”, con frases de entrenamiento que permiten a la plataforma reconocer variantes en la forma de expresarlos.

Entre los comandos configurados se incluyeron, por ejemplo: “Iniciar masaje bimanual” o “Iniciar con el segundo paquete de atención” o “Cuáles son los signos vitales de la paciente” o “Calcula el índice de choque”. Se pueden evidenciar algunos de los intents definidos en la aplicación en la **Figura 30.**

Figura 30

Captura de pantalla con todos los intents definidos en la aplicación visibles desde la plataforma web de Wit.ai.

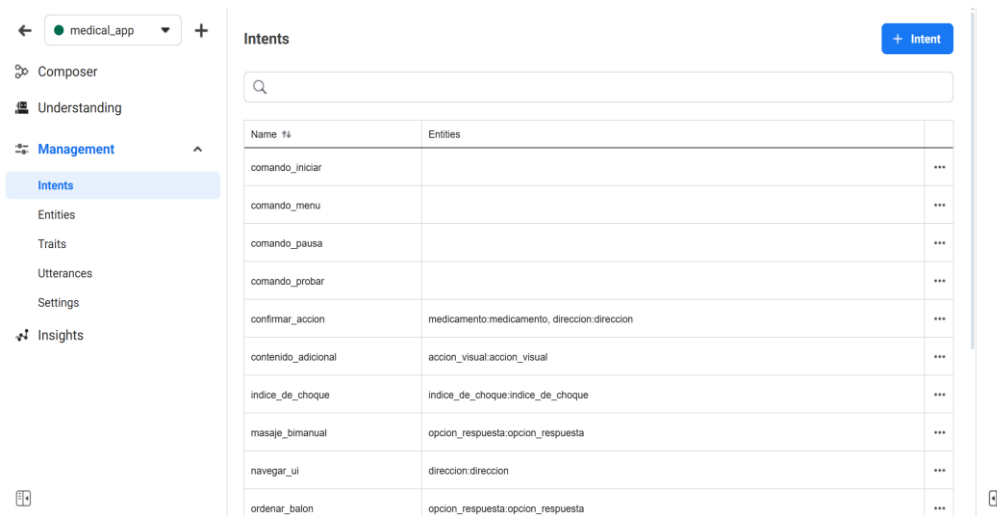
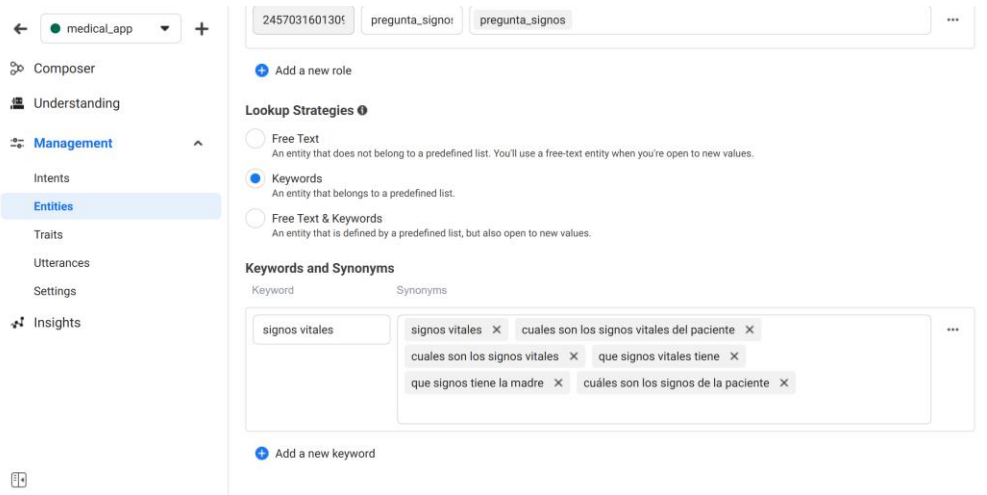


Figura 31

Captura de pantalla que muestra distintos sinónimos para el mismo comando de voz "signos vitales" definidos en la plataforma web de Wit.ai.



Adicionalmente, la **Figura 31** muestra la configuración que tiene cada comando de voz, en este caso para el comando de “signos vitales”, el reconocimiento de cada comando está definido por “palabras clave” permitiendo asignar sinónimos o distintas frases similares que apliquen para un mismo comando de voz. Esta configuración garantiza que la plataforma pueda interpretar con precisión las órdenes médicas emitidas por los estudiantes durante la simulación.

- Integración en Unity con el Voice SDK de Meta:

Dentro de la aplicación, se habilitó la activación del micrófono mediante gestos gaze sobre el ícono de micrófono. Una vez activo, el sistema captura la voz del estudiante, la envía a Wit.ai y recibe como respuesta la transcripción del comando detectado.

El flujo resultante combina tres acciones principales:

- Transcripción: Wit.ai convierte la orden verbal en texto y la devuelve a Unity en tiempo real.
- Coincidencia con response matchers: la transcripción es evaluada por los response matchers configurados en Unity, que identifican si la frase corresponde a un comando clínico predefinido.
- Ejecución y registro: cuando se detecta una coincidencia, la aplicación activa el evento clínico correspondiente (por ejemplo, iniciar un procedimiento o mostrar información de apoyo en pantalla) y almacena la decisión en el archivo JSON junto con la marca temporal y el momento clínico asociado.

De esta manera, el reconocimiento de voz permite que los estudiantes interactúen con la simulación de forma natural y coherente con la práctica clínica, sin depender únicamente de menús o botones. Al mismo tiempo, el registro estructurado de las decisiones en el archivo JSON garantiza la trazabilidad de la experiencia y proporciona un insumo objetivo para la retroalimentación docente y el análisis posterior.

Figura 32

Fragmento JSON con decisiones medicas guardades

```
[
  {
    "_id": "68d4b1b8cc301ded401080e3",
    "id_sesion": "ad595956-57ab-4ee5-821f-7d0963f1c162",
    "decisiones_medicas": [
      "blando.",
      "¿cuáles son los signos vitales de la paciente?",
      "calcula el índice de choque.",
      "iniciar el masaje bimanual"
    ],
    "fecha_simulacion": "2025-09-24",
```

4.4 Sistema de control de la escena

El sistema de control de la escena coordina la progresión entre los momentos clínicos y sincroniza cuatro ejes de la experiencia: líneas de tiempo (animaciones/eventos), interfaz de apoyo, comandos de voz y registro de evidencias. Su objetivo es que la simulación avance solo cuando el estudiante ha recibido la instrucción correspondiente y se han completado los eventos clínicos definidos, manteniendo coherencia pedagógica y trazabilidad técnica.

4.4.1 Orquestación de momentos

El orquestador administra la cadena de momentos clínicos. Para cada momento:

- prepara el contenido audiovisual y los eventos asociados (línea de tiempo);
- solicita a la interfaz presentar las instrucciones y apoyos del momento;
- inicia el conteo de tiempos y la captura de métricas.

Un momento se considera concluido cuando se han cumplido las condiciones de cierre establecidas (p. ej., final de la línea de tiempo e instrucción revisada). Al cumplirse, el orquestador habilita el siguiente momento o, al finalizar la cadena, consolida y envía las métricas registradas.

4.4.2 Secuenciación de la interfaz

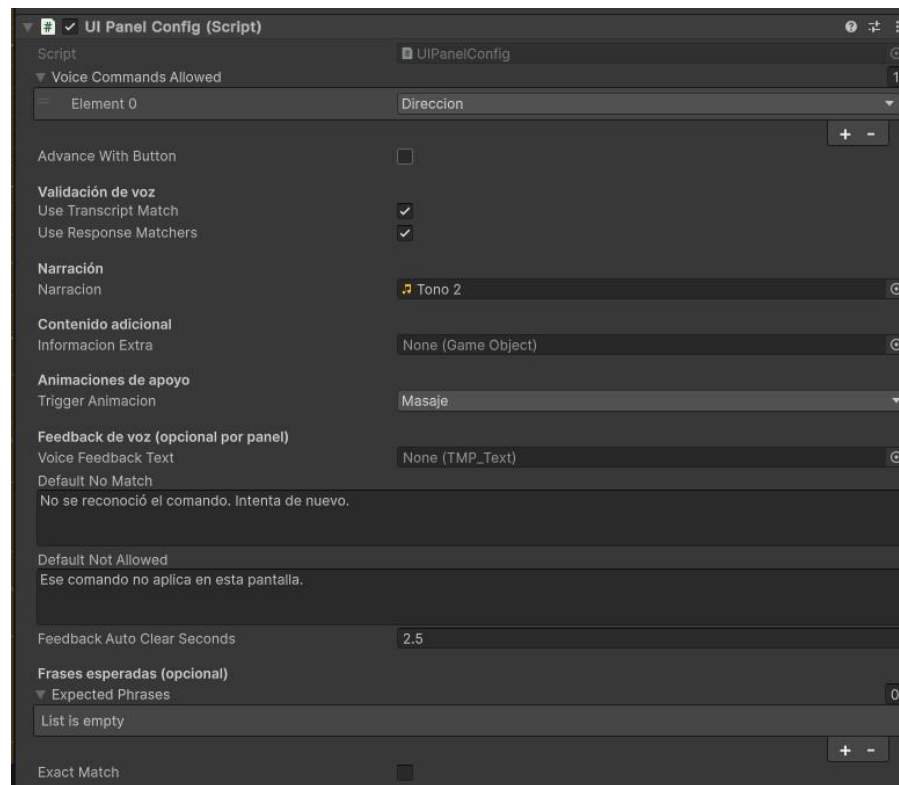
El secuenciador de UI organiza las pantallas de cada momento (instrucciones, ayudas visuales, narración y animaciones de apoyo). Controla la navegación hacia adelante/atrás dentro del momento y activa únicamente las interacciones que son pertinentes en ese contexto (por ejemplo, qué comandos de voz están disponibles). Al completar la secuencia de pantallas de un momento, notifica al orquestador que la instrucción ha sido cubierta.

4.4.3 Lógica por pantalla

Cada pantalla define su propio comportamiento: el tipo de ayuda a mostrar, las animaciones de apoyo que se activan y la forma de validar los comandos de voz. La validación puede basarse en coincidencia con frases esperadas, en response matchers (patrones configurados en Unity) o en una combinación de ambos. La pantalla también gestiona el feedback al estudiante cuando el comando no es reconocido o no corresponde al contexto.

Figura 33

Configuración de cada pantalla UI en Unity



4.4.4 Interpretación de voz en contexto

El intérprete de voz integra la transcripción de Wit.ai con los response matchers.

Para cada intervención del estudiante:

- recibe el texto transcrito;
- contrasta la intención con las reglas de validación de la pantalla activa; si la orden es pertinente, ejecuta la acción prevista (p. ej., avanzar la instrucción, activar un evento clínico o mostrar información extra) y registra la decisión con su marca temporal.

De este modo, la voz solo tiene efecto cuando es coherente con el momento clínico y la pantalla visibles, preservando la secuencia didáctica.

4.4.5 Flujo integrado

El funcionamiento integrado puede resumirse así:

- El orquestador activa un momento, prepara su línea de tiempo y solicita al secuenciador de UI desplegar la instrucción.
- El estudiante interactúa con la UI y, cuando corresponde, emite comandos de voz.
- El intérprete de voz valida la orden según las reglas de la pantalla activa; si es correcta, la UI progresa y la acción clínica se ejecuta.
- Cuando la instrucción del momento se ha completado y la línea de tiempo finaliza, el orquestador avanza al siguiente momento.
- Al cierre de la simulación, se consolidan y envían las métricas (tiempos, trayectoria de mirada, contacto de manos, decisiones y evidencias audiovisuales).

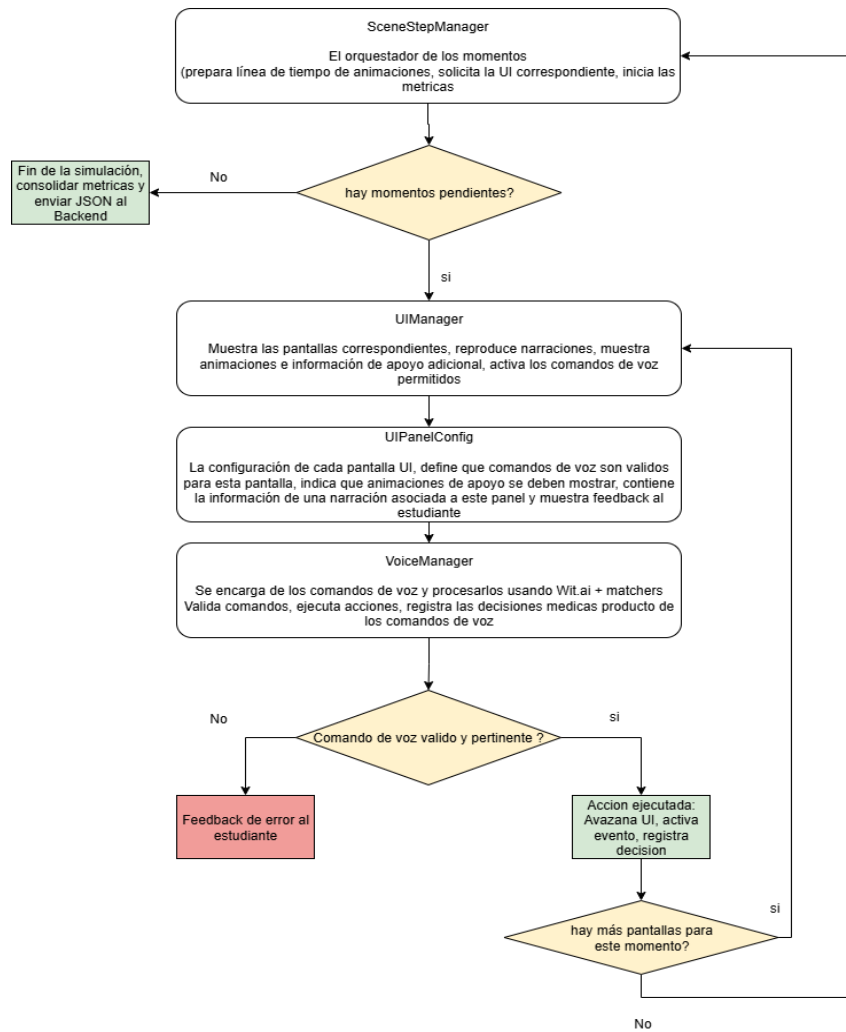
La **Figura 34** muestra el diagrama de flujo integrado del sistema de control de la escena. El proceso inicia con el orquestador de momentos

(SceneStepManager), que prepara la línea de tiempo y activa la interfaz correspondiente. Posteriormente, el UIManager despliega pantallas, narraciones y animaciones, mientras que UIPanelConfig define los comandos y validaciones asociadas a cada pantalla. El VoiceManager procesa los comandos de voz mediante Wit.ai y response matchers, ejecutando acciones o mostrando retroalimentación de error según la validez del comando. El ciclo continúa hasta completar las pantallas de cada momento y avanza hasta consolidar métricas y enviar los resultados al backend.

Figura 34

Flujo del sistema de control de la escena

FLUJO INTEGRADO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA ESCENA



4.5 Resultados del backend e integración con la plataforma web

4.5.1 Descripción del backend

Con el propósito de garantizar la persistencia y disponibilidad de los resultados generados en la simulación, se desarrolló un backend propio utilizando Node.js con el framework Express. Este servicio se ejecuta dentro de un contenedor Docker y cumple la función de intermediario

entre la aplicación desplegada en las gafas Meta Quest 3 y la plataforma web SIMA, permitiendo tanto el almacenamiento como la posterior consulta de datos y recursos multimedia.

El backend expone una API REST protegida mediante un esquema de autenticación basado en tokens. Su arquitectura se divide en dos módulos principales:

1. Gestión de datos clínicos de la simulación:

Los resultados de cada sesión se reciben en formato JSON, los cuales contienen información detallada como el identificador único de la sesión, el identificador del estudiante, la fecha y hora de la simulación, las decisiones clínicas registradas, las líneas de tiempo de gaze y contacto manual, así como el resumen de métricas de desempeño.

Estos documentos son almacenados en una base de datos MongoDB, dentro de la colección resultados, lo que permite su consulta posterior de manera eficiente.

El diseño de la API soporta tanto la inserción como la actualización de sesiones (operación upsert), así como consultas filtradas por estudiante o por fecha de simulación, facilitando la organización y trazabilidad de la información.

Los endpoints principales son:

- POST /api/simulacion: guarda o actualiza una sesión completa.
- GET /api/simulacion: retorna todas las sesiones almacenadas.
- GET /api/simulacion/estudiante/:id: obtiene todas las simulaciones asociadas a un estudiante específico.

- GET /api/simulacion/fecha/:fecha: recupera simulaciones realizadas en una fecha determinada.
- GET /api/simulacion/estudiante/:id_estudiante: recupera simulaciones realizadas por un estudiante específico en base a su correo electrónico.

2. Gestión de recursos multimedia (videos):

La grabación de la simulación realizada en las Meta Quest 3 es enviada automáticamente al endpoint /api/upload-video.

Para optimizar el manejo de archivos de gran tamaño, se integró SeaweedFS, un sistema de archivos distribuido que ofrece alta escalabilidad y acceso rápido a contenidos multimedia.

El flujo de almacenamiento de videos sigue tres pasos:

El backend solicita al SeaweedFS Master un File Identifier (FID) mediante la ruta /dir/assign.

Una vez recibido el FID y la dirección de un nodo de volumen, el archivo se transfiere directamente al servicio de almacenamiento.

Finalmente, se genera una URL pública que referencia al video, la cual es devuelta a Unity y almacenada en la base de datos junto con el resto de los datos de la sesión.

Gracias a este diseño, el backend actúa como un punto de integración robusto que no solo permite la persistencia de métricas y recursos audiovisuales, sino que además habilita la interoperabilidad con la plataforma SIMA, garantizando que los resultados puedan ser consultados por los docentes sin necesidad de procesamiento adicional.

4.5.2 Flujo de interacción con Meta Quest 3

El flujo de integración entre la aplicación desarrollada en las gafas Meta Quest 3 y el backend se diseñó para que los datos y recursos audiovisuales de cada simulación se almacenen de manera automática y estructurada. Este proceso involucra tres componentes principales en Unity: VideoUploader, AnswersManager y APIClient.

1. Captura y subida de videos

- Durante la simulación, se solicita al estudiante grabar fragmentos específicos de la práctica (por ejemplo, masaje bimanual o inserción de balón Bakri).
- El script VideoUploader localiza el archivo de video más reciente en la carpeta de grabaciones internas del dispositivo (/storage/emulated/0/Oculus/VideoShots).
- Una vez identificado, el archivo es leído en memoria y enviado al endpoint /api/upload-video del backend utilizando APIClient.PostFile().
- El backend, a su vez, reenvía el archivo a SeaweedFS, que genera un identificador único (FID) y devuelve una URL pública al video.
- Esta URL es registrada en Unity por medio de AnswersManager, asociada al evento clínico correspondiente.

De esta forma, cada video grabado queda inmediatamente disponible en línea y vinculado a la sesión del estudiante.

2. Construcción del JSON de la simulación

Paralelamente a la gestión de videos, la clase AnswersManager construye un objeto SimulacionData con todas las métricas recolectadas durante la experiencia:

- Identificación: id de estudiante, id de sesión, fecha y hora de la simulación.
- Rendimiento temporal: duración total de la práctica y tiempos parciales de cada momento clínico.
- Decisiones clínicas: lista de las órdenes verbales emitidas y validadas.
- Videos: diccionario que relaciona el nombre del procedimiento con la URL pública del video almacenado en SeaweedFS.
- Interacciones: línea de tiempo de mirada (gaze), resúmenes de fijación visual y períodos de contacto manual con el maniquí.

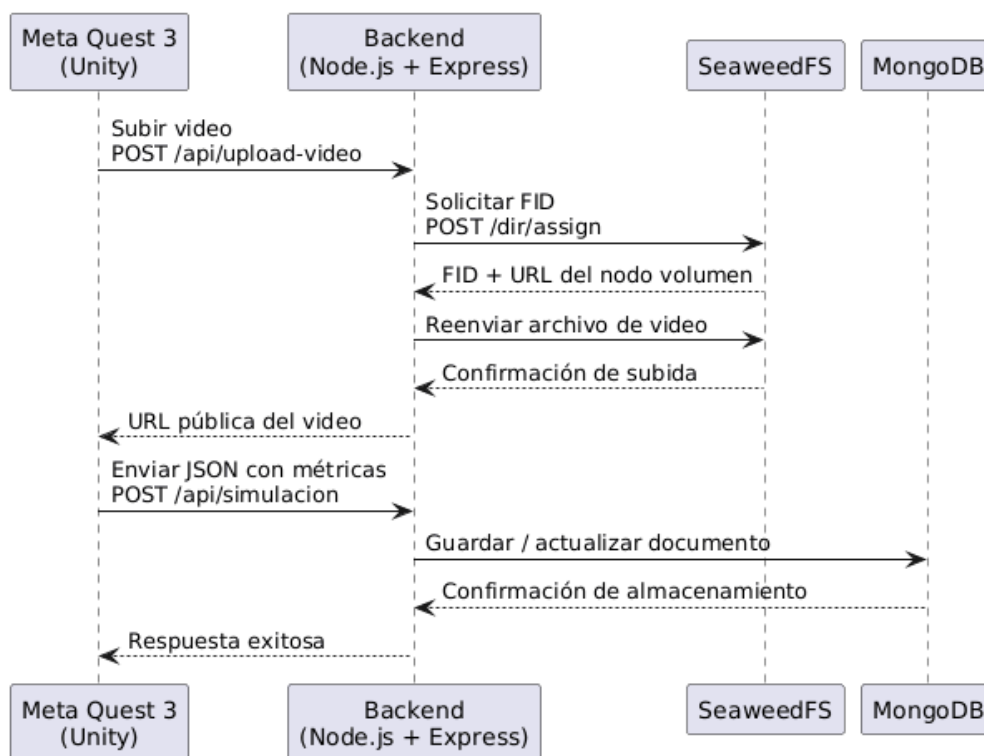
• Toda esta información es serializada en formato JSON y enviada mediante “APIClient.PostJSON()” al endpoint /api/simulacion. El backend valida el token de seguridad, guarda o actualiza el documento en MongoDB y confirma la operación al cliente.

El resultado final de esta integración es un registro completo por sesión, que incluye tanto los videos como las métricas del desempeño del estudiante. Dicho registro puede ser consultado por la plataforma web SIMA mediante los endpoints de lectura del backend, asegurando así que el docente tenga acceso inmediato a la información sin pasos intermedios.

Figura 35

Diagrama de secuencia de la integración entre la aplicación XR en Meta Quest 3, el backend de servicios, el sistema de almacenamiento SeaweedFS y la base de datos MongoDB.

Diagrama de secuencia: integración Meta Quest 3 - Backend - SeaweedFS - MongoDB



4.5.3 Acceso desde la plataforma SIMA

Si bien el alcance de este trabajo de grado se concentró en el desarrollo de la aplicación en realidad mixta y en la construcción del backend que almacena los datos y videos generados durante las simulaciones, era fundamental garantizar que dichos recursos pudieran ser consumidos posteriormente por la plataforma web SIMA, encargada de centralizar la gestión académica y brindar acceso a docentes y coordinadores.

El backend implementado expone una serie de endpoints que permiten consultar los resultados por estudiante o por sesión, así como recuperar las evidencias audiovisuales asociadas a cada práctica. Gracias a esta estructura, la plataforma SIMA puede conectarse al servicio,

invocar los endpoints necesarios y presentar la información en un entorno accesible para los profesores.

Usando usuarios de prueba facilitados por los estudiantes Levir Hernández y Camilo Andres Moreno, perteneciente al proyecto de grado “Diseño y desarrollo del sistema de creación y visualización de escenarios de realidad extendida para entrenamiento en procedimientos médicos.”, se puede entrar en la plataforma y ver que SIMA consume correctamente estos datos: por ejemplo, visualizar los videos grabados y revisar las métricas generadas automáticamente.

Figura 36

Interfaz de la plataforma SIMA mostrando hora de inicio y tiempo total.

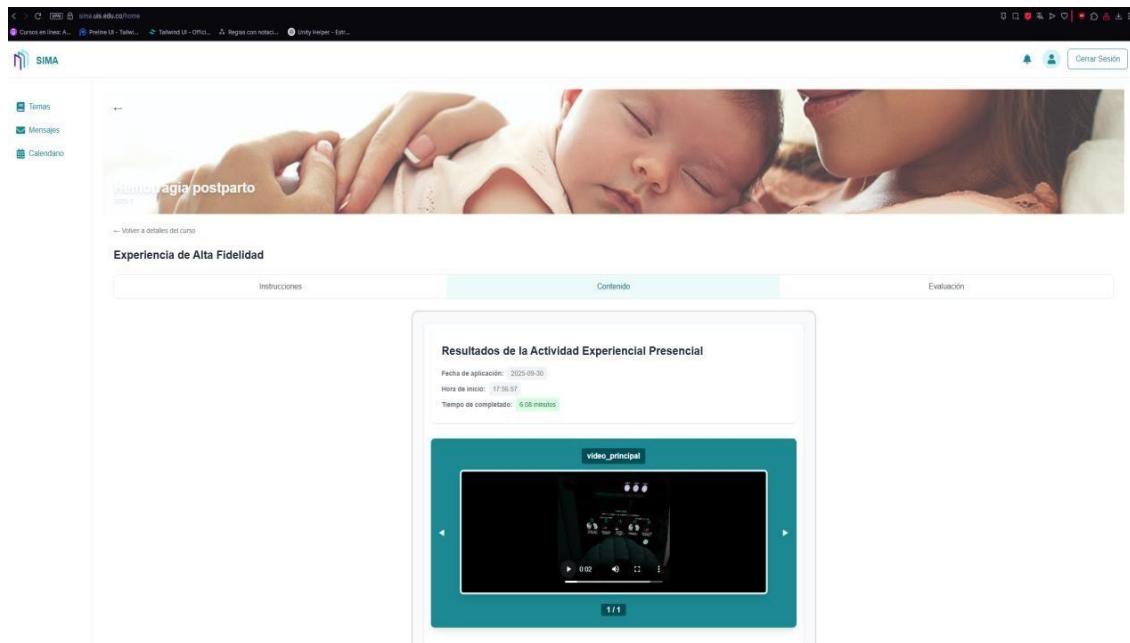


Figura 37

Interfaz de la plataforma SIMA mostrando decisiones médicas tomadas por el estudiante y el tiempo empleado en cada momento



De esta manera, se evidencia la interoperabilidad alcanzada entre la aplicación en Meta Quest 3, el backend desarrollado en este trabajo y la plataforma SIMA, logrando una integración fluida que permite a los docentes acceder de manera sencilla a los resultados de sus estudiantes.

4.5.4 Evaluación técnica de la integración

La validación de la integración entre el dispositivo Meta Quest 3 y la plataforma web se realizó a través de una verificación técnica del flujo de extremo a extremo. El objetivo fue confirmar que los datos generados en la aplicación de realidad mixta se almacenan correctamente en el backend y quedan disponibles para su posterior consulta en la plataforma SIMA. Para esta evaluación se revisaron los siguientes aspectos:

1. Generación y envío de información desde Meta Quest 3

- La aplicación produce un archivo JSON estructurado con identificadores de estudiante y sesión, decisiones médicas registradas, métricas de interacción (gaze, contacto de manos, tiempos por momento clínico) y enlaces a los videos grabados.
- Dicho JSON se envía automáticamente al endpoint `/api/simulacion` del backend, protegido con token de autenticación.

2. Almacenamiento en el backend

- Se verificó que los documentos JSON se almacenan en la colección resultados de MongoDB sin pérdida de información.
- Cada registro queda indexado por el campo `id_sesion`, lo que permite consultas posteriores por sesión, estudiante o fecha.

3. Gestión de videos en SeaweedFS

- Los videos grabados en Meta Quest 3 se suben al endpoint `/api/upload-video`, que reenvía los archivos al sistema distribuido SeaweedFS.
- Se comprobó que, tras la subida, el backend devuelve una URL accesible públicamente, que queda registrada en el JSON bajo la etiqueta correspondiente al procedimiento (ej. masaje bimanual).

4. Acceso desde la plataforma SIMA

- Se realizaron peticiones de prueba desde un cliente externo (Postman) y desde la propia plataforma SIMA para confirmar que tanto los JSON como los videos son recuperables sin intervención manual. La **Figura 38** muestra los datos desde la plataforma SIMA, y la **Figura 39** muestra los datos desde Postman.
- La consulta por estudiante devuelve el historial de simulaciones junto con las métricas asociadas, demostrando que la comunicación entre sistemas es fluida.

Figura 38

Acceso a los datos de la simulación, decisiones médicas, tiempos y video desde la plataforma SIMA con usuario de prueba.

The screenshot displays the SIMA platform interface for a postpartum hemorrhage simulation. The main content area is titled "Experiencia de Alta Fidelidad" and is divided into three sections: "Instrucciones", "Contenido", and "Evaluación". The "Contenido" section is active and displays the following information:

- Resultados de la Actividad Experiencial Presencial**
 - Fecha de aplicación: 2025-09-30
 - Hora de inicio: 17:56:57
 - Tiempo de completado: 6:06 minutos
- video_principal**: A video player showing a simulation scene with a patient in a hospital bed.
- Decisiones Médicas Tomadas por el Estudiante**: A list of medical decisions made during the simulation.

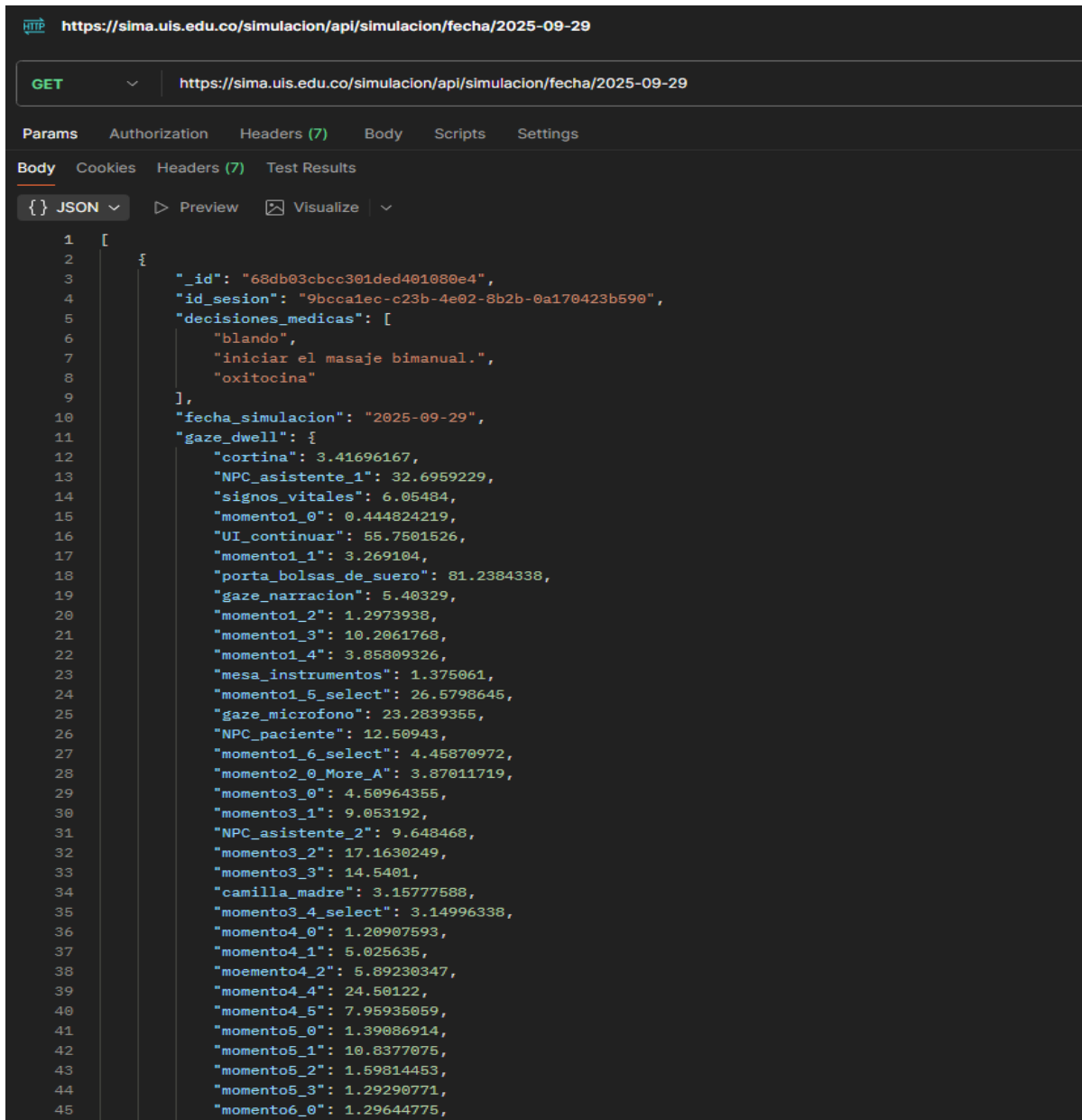
blando
¿Cuáles son los signos vitales de la paciente?
calcula el índice de choque
iniciar el masaje bimanual
oatlocna
ha sido tranexámico
oatlocna
oatlocna
- Tiempo empleado en cada sección de la experiencia**: A bar chart showing the time spent in each section.

Sección	Tiempo (s)
1	40
2	10
3	90
4	85
5	40
6	20
7	30
8	10
9	10
10	30
11	10

Navigation buttons "Anterior" and "Siguiente" are visible at the bottom of the content area.

Figura 39

Datos de la simulación obtenidos usando Postman



En conclusión, la evaluación técnica confirma que el flujo completo, desde la captura de datos y videos en Meta Quest 3, su transmisión al backend mediante la API, el almacenamiento en MongoDB y SeaweedFS, hasta la consulta desde la plataforma SIMA, se ejecuta de manera

correcta y estable. Este resultado valida el cumplimiento del objetivo específico de garantizar la integración entre la aplicación en realidad mixta y la plataforma web.

4.6 Prueba de funcionamiento

En esta sección se presenta la verificación del cumplimiento de los requisitos definidos en el capítulo 3. Para cada requisito funcional y no funcional se especifica:

- Método de verificación: cómo se comprobó su implementación (ej. prueba en simulación, inspección en base de datos, consulta en API).
- Resultado: estado final (cumplido, no aplicable, pendiente).

Tabla 15

Resultados de la verificación de requisitos funcionales y no funcionales

Identificador	Requerimiento	Manera de verificar	Resultado
RF01	Comandos de voz	Estudiante emite comandos de voz configurados (ej. administrar medicamentos, realizar maniobras). Se valida reconocimiento por Wit.ai y respuesta en la simulación.	Funcional
RF02	Interacción por gaze	El estudiante selecciona opciones en pantalla únicamente con la mirada. Se comprueba que el gaze activa botones y menús.	Funcional
RF03	Autenticación del estudiante	Ingreso mediante la plataforma SIMA, validando credenciales.	Funcional
RF04	Anclaje espacial	Se coloca un ancla persistente sobre la camilla física usando Scene Understanding. Se verifica alineación entre elementos virtuales y el maniquí.	Funcional

RF05	Línea del tiempo del gaze	Durante la simulación se almacenan coordenadas de los puntos de mirada. Se valida la generación de un registro JSON.	Funcional
RF06	Línea del tiempo del contacto de las manos	Se registra la interacción del estudiante con el maniquí (cuándo y cuánto tiempo mantiene contacto). Se valida contra métricas exportadas.	Funcional
RF07	Subida de video	Al finalizar un procedimiento cuya grabación de video fue solicitada, este se sube automáticamente SeaweedFS, obteniendo un enlace accesible.	Funcional
RF08	Sistema de control de escena	La simulación progresa de acuerdo con los momentos clínicos, activando ayudas y controlando eventos mediante SceneStepManager + UIManager.	Funcional
RF09	JSON de datos capturados	Al finalizar la simulación se genera un JSON con métricas (gaze, manos, tiempos, decisiones, videos) y se almacena en MongoDB.	Funcional
RNF01	Desempeño fluido	Se ejecuta la aplicación en Meta Quest 3 validando que no haya bloqueos críticos y que las transiciones entre escenas sean ágiles.	Funcional
Identificador	Requerimiento	Manera de verificar	Resultado
RNF02	Interfaz intuitiva y accesible	Evaluación cualitativa: estudiantes comprenden los menús y paneles sin necesidad de instrucciones adicionales.	Funcional
RNF03	Diseño escalable	Se verifica que la arquitectura modular (escenas aditivas, backend con API REST) permite la futura incorporación de nuevos escenarios clínicos.	Funcional

4.7 Prueba de usabilidad

Con el fin de evaluar la percepción de los usuarios sobre la aplicación desarrollada, se aplicó la escala SUS (System Usability Scale), un instrumento estandarizado ampliamente utilizado para medir la usabilidad de sistemas interactivos. Esta prueba consiste en un

cuestionario de 10 ítems con respuestas en escala Likert de 1 a 5, donde 1 corresponde a “Totalmente en desacuerdo” y 5 a “Totalmente de acuerdo”.

- Los ítems del cuestionario abarcan aspectos relacionados con:
- Facilidad de uso.
- Complejidad percibida.
- Necesidad de soporte técnico.
- Integración de funciones.
- Nivel de confianza del usuario al interactuar con el sistema.

La encuesta se aplicó a un grupo de estudiantes de medicina que participaron en la simulación clínica de hemorragia postparto. La muestra incluyó 5 participantes, quienes utilizaron el sistema de inicio a fin en condiciones controladas durante la práctica académica.

Figura 40

Estudiantes usando la aplicación bajo un ambiente controlado. Se monitorea lo que ve cada estudiante transmitiendo directamente a un computador.



Después de completar la simulación en el dispositivo Meta Quest 3, cada estudiante respondió el cuestionario SUS de manera individual y anónima, los resultados se encuentran en Apéndices.. Posteriormente, las respuestas fueron procesadas de acuerdo con la metodología estándar de la escala:

- Conversión de las respuestas en valores entre 0 y 4 según la fórmula SUS.
- Suma de los puntajes obtenidos en cada ítem.
- Multiplicación del resultado por 2.5 para obtener un puntaje global entre 0 y 100.

Los resultados individuales y el promedio grupal se presentan en la **Tabla 16**

Tabla 16

Tabla de resultados puntaje SUS por estudiante y promedio del grupo

Participante	Puntaje SUS
Estudiante 1	87.5
Estudiante 2	67.5
Estudiante 3	90.0
Estudiante 4	92.5
Estudiante 5	65
Promedio grupo	80.5

El puntaje promedio obtenido por el grupo evidencia que la aplicación alcanza un nivel de excelente, de acuerdo con los rangos establecidos para la escala SUS (68 como referencia de aceptabilidad y >80 como excelente). Esto confirma que, además de cumplir con los requisitos técnicos y funcionales, la aplicación es percibida como intuitiva y fácil de usar por los estudiantes que participaron en la simulación.

5. Conclusiones

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo principal el desarrollo de una aplicación de realidad mixta para el entrenamiento en el manejo de la hemorragia postparto, integrando

tecnologías de interacción avanzada y captura de métricas para su posterior análisis académico.

A partir de los resultados obtenidos, se presentan las siguientes conclusiones:

- Cumplimiento de objetivos específicos: se logró implementar un sistema de posicionamiento con ancla espacial persistente, un módulo de reconocimiento de voz con Wit.ai, un sistema de control de escena para la orquestación de eventos clínicos y una integración efectiva con la plataforma SIMA mediante un backend desarrollado en Node.js y MongoDB. Estos logros permiten afirmar que los objetivos propuestos en el proyecto fueron alcanzados.
- Viabilidad técnica del sistema: la aplicación demostró que es posible ejecutar simulaciones inmersivas en el dispositivo Meta Quest 3 de manera fluida, integrando interacción por gaze, gestos manuales y comandos de voz, pese a las limitaciones propias del hardware (restricciones de acceso a la cámara y capacidad de procesamiento).
- Captura y almacenamiento estructurado de métricas: el sistema permitió registrar datos clave como tiempos de ejecución, trayectoria de la mirada, contacto manual y decisiones médicas expresadas por voz. Estos datos se almacenaron de manera estructurada en un archivo JSON y se integraron con la plataforma SIMA, lo que constituye un aporte significativo para el análisis y la retroalimentación pedagógica.
- Valor pedagógico de la herramienta: la simulación desarrollada constituye una alternativa innovadora a los métodos tradicionales de enseñanza clínica, ya que brinda a los estudiantes un entorno controlado para la práctica repetitiva de

procedimientos críticos, disminuyendo riesgos y mejorando la preparación ante situaciones reales.

- Limitaciones identificadas: se evidenció la necesidad de una conexión a internet estable para garantizar la autenticidad en la plataforma SIMA, la subida de videos y el correcto funcionamiento del reconocimiento de voz. Asimismo, se observó una curva de aprendizaje en el uso del gaze, lo que sugiere la necesidad de reforzar el tutorial inicial.

6. Recomendaciones

Con base en el desarrollo del sistema y la experiencia obtenida durante su implementación y validación, se formulan las siguientes recomendaciones orientadas a optimizar el desempeño de la aplicación y facilitar su adopción en futuros escenarios de entrenamiento:

- Optimización de modelos 3D: reducir la complejidad poligonal y aplicar técnicas de compresión de texturas permitirá que la aplicación sea más liviana y disminuya los tiempos de carga, mejorando la fluidez en el dispositivo Meta Quest 3.
- Refuerzo del tutorial inicial: incluir explicaciones más detalladas y ayudas visuales sobre el uso del gaze y los comandos de voz, con el fin de reducir la curva de aprendizaje de los estudiantes en las primeras interacciones.
- Validación previa de la conexión a internet: incorporar un sistema de verificación de conectividad al inicio de la simulación, que alerte al usuario en caso de problemas y evite interrupciones durante el proceso de captura y envío de datos.

- Estandarización del JSON de métricas: definir un esquema común y documentado para el archivo JSON que almacena los datos de la simulación, lo que facilitará la interoperabilidad con diferentes plataformas académicas y futuros proyectos derivados.
- Gestión de almacenamiento en SeaweedFS: implementar políticas de limpieza o archivado de videos antiguos con el fin de garantizar la disponibilidad de espacio en el servidor y mantener la base de datos organizada.

7. Trabajo Futuro

El sistema desarrollado constituye una base sólida para el entrenamiento en hemorragia postparto mediante realidad extendida; sin embargo, existen múltiples líneas de trabajo que pueden enriquecer y ampliar el alcance de la propuesta. Entre las principales se destacan:

- Alternativa a los comandos de voz para medicamentos Implementar un sistema de registro basado en grabación de audio, de manera que las órdenes verbales sobre medicamentos se almacenen como clips asociados a la sesión. Estos audios podrían ser reproducidos posteriormente por el docente en la plataforma SIMA, evitando la necesidad de actualizar constantemente la lista de comandos de voz y superando las limitaciones de reconocimiento de fármacos con nombres complejos en Wit.ai. Estas grabaciones pueden aprovechar el sistema ya montado con SeaweedFS ya que permite guardar cualquier tipo de archivo.
- Ampliación de casos clínicos: Incorporar múltiples escenarios de hemorragia postparto que reflejen diferentes causas (atonía uterina, retención de placenta,

traumas del canal de parto, coagulopatías, entre otros). Esto permitiría diversificar las rutas de decisión clínica, mejorar el realismo pedagógico y enriquecer la preparación de los estudiantes frente a situaciones variadas.

- Mayor inteligencia en los NPC: Actualmente los personajes no jugadores (NPC) siguen rutinas y animaciones predefinidas. Se propone dotarlos de mayor autonomía, incorporando inteligencia artificial que les permita reaccionar dinámicamente a las acciones del usuario, responder con diálogos contextuales o realizar tareas complementarias dentro del procedimiento clínico.
- Optimización del motor de métricas: Extender el sistema de recolección de métricas para que, además de capturar gaze, tiempo y contacto manual, pueda integrar datos biométricos o fisiológicos simulados (por ejemplo, variaciones de signos vitales del paciente virtual en respuesta a las intervenciones).
- Compatibilidad multiplataforma: Explorar la migración de la aplicación hacia otros dispositivos XR y plataformas de simulación clínica, con el fin de ampliar el alcance y permitir comparaciones de desempeño entre tecnologías.
- Integración de retroalimentación automática: Diseñar un módulo que procese el JSON de resultados y genere reportes automáticos para el estudiante, con análisis básicos de tiempos, decisiones y secuencia de acciones. Esto reduciría la dependencia del docente para las primeras evaluaciones y agilizaría el proceso de aprendizaje autónomo.
- Estudios de impacto pedagógico: Realizar investigaciones con grupos de estudiantes para evaluar cuantitativamente el impacto de la herramienta en la

adquisición de competencias clínicas, comparando su efectividad con métodos tradicionales de enseñanza.

Referencias Bibliográficas

- Almutairi, W. M., Almutaraiy, S. M., Al-Zahrani, A., Alsharif, F., Faheem, W. A., Abunar, A., & Thabet, H. A. (2025). Transforming Postpartum Care: The Efficacy of Simulation Training in Hemorrhage Management Among Nurses. *Healthcare (Switzerland)*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/healthcare13050549>
- Asturizaga Patricia, & Toledo Jaldin Lilian. (2014). Hemorragia Obstétrica. *Revista Médica La Paz*, 20, 57–68. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-89582014000200009&nrm=iso
- Bautista, L. E., Maradei, F., & Pedraza, G. (2023). Integración espacial de contenidos en entornos de realidad extendida. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 33(2), 23–38.
- Cikwanine, J. P. B., Mukwege, D., Mongwa, J., shalamba, E. M., Maroyi, R., Yoyu, J. T., & Martin, L. (2025). An assessment of the effects of simulation training on management of postpartum hemorrhage: short- and long-term impact on knowledge retention, skills and teamwork in the Democratic Republic of Congo. *BMC Medical Education*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07393-3>
- Curran, V. R., Xu, X., Aydin, M. Y., & Meruvia-Pastor, O. (2023). Use of Extended Reality in Medical Education: An Integrative Review. En *Medical Science Educator* (Vol. 33, Número 1, pp. 275–286). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40670-022-01698-4>
- DiMiceli Maryand Banerjee, Arnaand Newton Mark W, & McEvoy Matthew D. (2020). Simulation in Low-Resource Settings: A Review of the Current State and Practical Implementation Strategies. En R. D. and P.-S. M. C. M. Mahoney Bryan and Minehart (Ed.), *Comprehensive Healthcare Simulation: Anesthesiology* (pp. 313–321). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26849-7_27

- Drew, T., & Carvalho, J. C. A. (2021). Pharmacologic Prevention and Treatment of Postpartum Hemorrhage. *Current Anesthesiology Reports*, *11*(1), 37–47. <https://doi.org/10.1007/s40140-021-00444-7>
- Dunlop, K., Dillon, G., McEvoy, A., Kane, D., Higgins, S., Mangina, E., & McAuliffe, F. M. (2024). The virtual reality classroom: a randomized control trial of medical student knowledge of postpartum hemorrhage emergency management. *Frontiers in Medicine*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1371075>
- Faustine, R., Tjoflåt, I., Risa, E. C. F., Rogathi, J., & Mahande, M. J. (2025). Improving Tanzanian student nurse-midwives' knowledge, skills and attitude in postpartum hemorrhage prevention through simulation-based education: a pre-post quasi experimental study. *BMC Pregnancy and Childbirth*, *25*(1). <https://doi.org/10.1186/s12884-025-07590-4>
- Gholamalishahi, S., Barletta, V. I., Manai, M. V., Battisti, F., Centonze, L., La Torre, G., & Mannocci, A. (2024). Impact of immersive realities and metaverse in the university training for health professions and medicine: a systematic review of preliminary evidence. *Journal of Public Health (Germany)*. <https://doi.org/10.1007/s10389-024-02268-1>
- Karlsson, H., & Perez Sanz, C. (2009). Hemorragia postparto. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, *32*, 159–167. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000200014&nrm=iso
- Unity Technologies. (2020, enero). *How to do Additive Scene Preloading*. <https://discussions.unity.com/t/how-to-do-additive-scene-preloading/796885>.
- Lee, L. L., & Calderón, M. J. N. (2021). Realidad Extendida y sus posibilidades de mediación en ambientes de aprendizaje. *Acta Scientiæ Informaticæ*, *5*(5).

- Lu, Z., Seo, J. H., Khandan, P., Maxa, T., Garcia-Pi, B., & Wells-Beede, E. (2024). The work behind an interdisciplinary team: Creating a postpartum hemorrhage virtual reality training platform. *Clinical Simulation in Nursing*, 94, 101595. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecns.2024.101595>
- Markley, J. C., & Carusi, D. A. (2019). Postpartum Hemorrhage: What's New? *Current Obstetrics and Gynecology Reports*, 8(4), 123–129. <https://doi.org/10.1007/s13669-019-00273-w>
- Meta Developers. (2026). *Scene understanding*. <https://developers.meta.com/horizon/design/mr-design-scene/>.
- Meta Platforms, Inc. (s/f-a). *Unity Tutorial: Basic Voice Input*. <https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/unity-tutorial-basic-voice-input/>.
- Meta Platforms, Inc. (s/f-b). *Wit.ai Quickstart Documentation*. <https://wit.ai/docs/quickstart>.
- MongoDB Inc. (s/f). *What is MongoDB?* <https://www.mongodb.com/es/company/what-is-mongodb>.
- Piñeros Diaz Juliana Alexandra. (2022). *Simulación de un ambiente virtual gamificado*.
- Torres Carreño Diana Sofia, & Garcia Flores Sebastian. (2022). *escenario clínico fundamentado en realidad virtual y gamificación aplicado a la enseñanza del manejo activo del alumbramiento como prevención de la hemorragia obstétrica, orientada a la formación de estudiantes de medicina*. Universidad Industrial de Santander.
- Unity Technologies. (s/f). *Unity Engine*. <https://unity.com/es/products/unity-engine>.
- Vargas Gonzales Laura Sofia, & Buitrago Medina Jonathan. (2022). *Recurso educativo gamificado soportado en técnicas de realidad virtual para el apoyo del aprendizaje en manejo de hemorragia obstétrica, orientado a estudiantes de medicina*. Universidad Industrial de Santander.

- Voillequin, S., Rozenberg, P., Letutour, K., & Rousseau, A. (2022). Comparative satisfaction and effectiveness of virtual simulation and usual supervised work for postpartum hemorrhage management: a crossover randomized controlled trial. *BMC Medical Education*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03761-5>
- Wilcox, L., Ramprasad, C., Gutierrez, A., Oden, M., Richards-Kortum, R., Sangi-Haghpeykar, H., & Gandhi, M. (2017). Diagnosing Postpartum Hemorrhage: A New Way to Assess Blood Loss in a Low-Resource Setting. *Maternal and Child Health Journal*, 21(3), 516–523. <https://doi.org/10.1007/s10995-016-2135-5>

Apéndices.

Apéndice A. Resultados de prueba de usabilidad

En este apéndice se presentan los resultados completos de la prueba SUS aplicada a los estudiantes de medicina.

Se incluyen las gráficas correspondientes a cada uno de los 10 ítems del cuestionario, mostrando la distribución de respuestas y los valores promedio obtenidos.

Este nivel de detalle complementa la información resumida en la sección 4.7, permitiendo visualizar de manera más clara los aspectos específicos de la experiencia de usuario, tales como:

- Facilidad de uso general.
- Complejidad percibida.
- Necesidad de soporte técnico.
- Confianza al interactuar con el sistema.
- Integración entre las funciones.

Figura 41

Formulario de usabilidad. Creo que me gustaría usar esta experiencia con frecuencia



Figura 42

Formulario de usabilidad. Encontré esta experiencia innecesariamente compleja



Figura 43

Formulario de usabilidad. Pensé que la experiencia era fácil de usar.

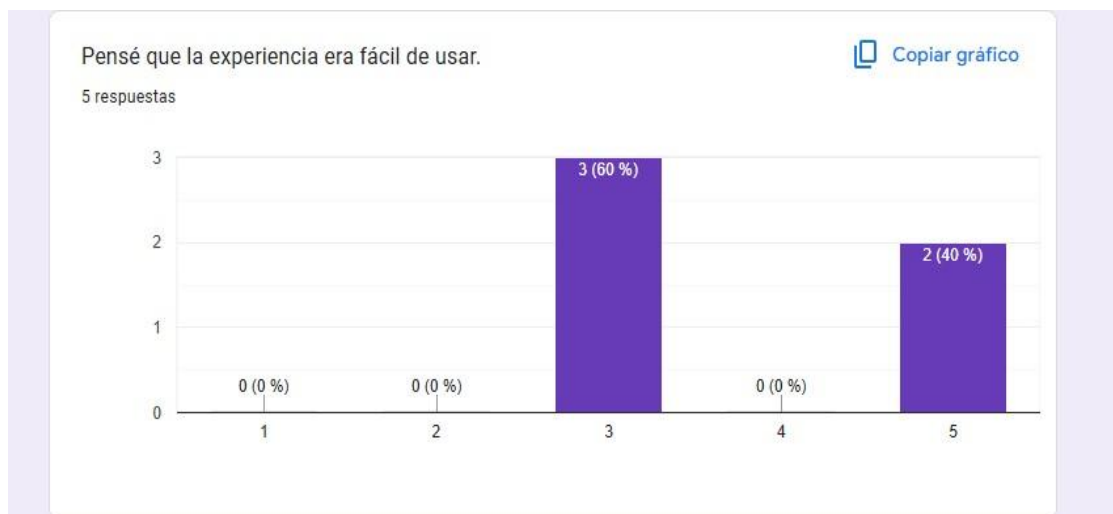


Figura 44

Formulario de usabilidad. Creo que necesitaría apoyo técnico para poder usar esta experiencia.

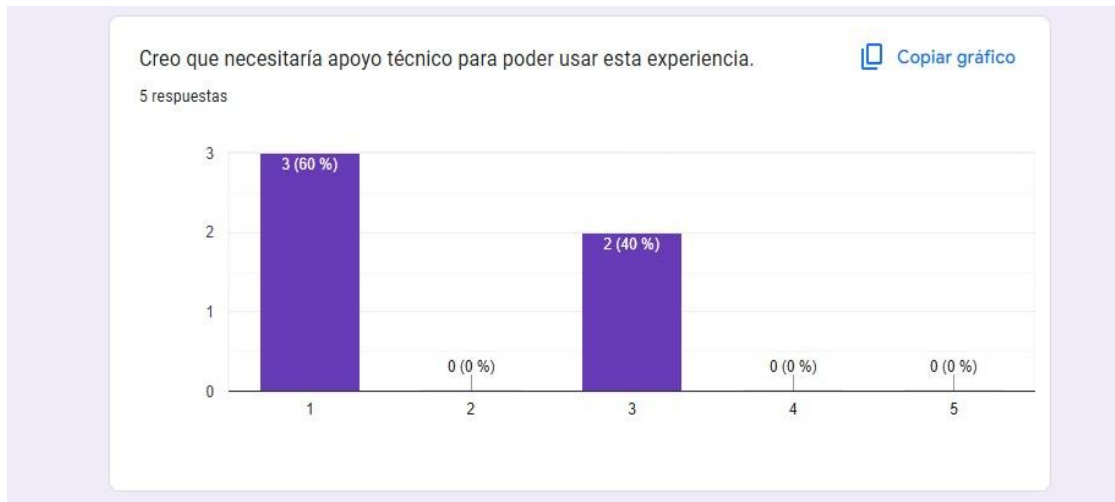


Figura 45

Formulario de usabilidad. Encontré que las funciones de la experiencia estaban bien integradas



Figura 46

Formulario de usabilidad. Pensé que había demasiada inconsistencia en esta experiencia



Figura 47

Formulario de usabilidad. Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar esta experiencia muy rápidamente.

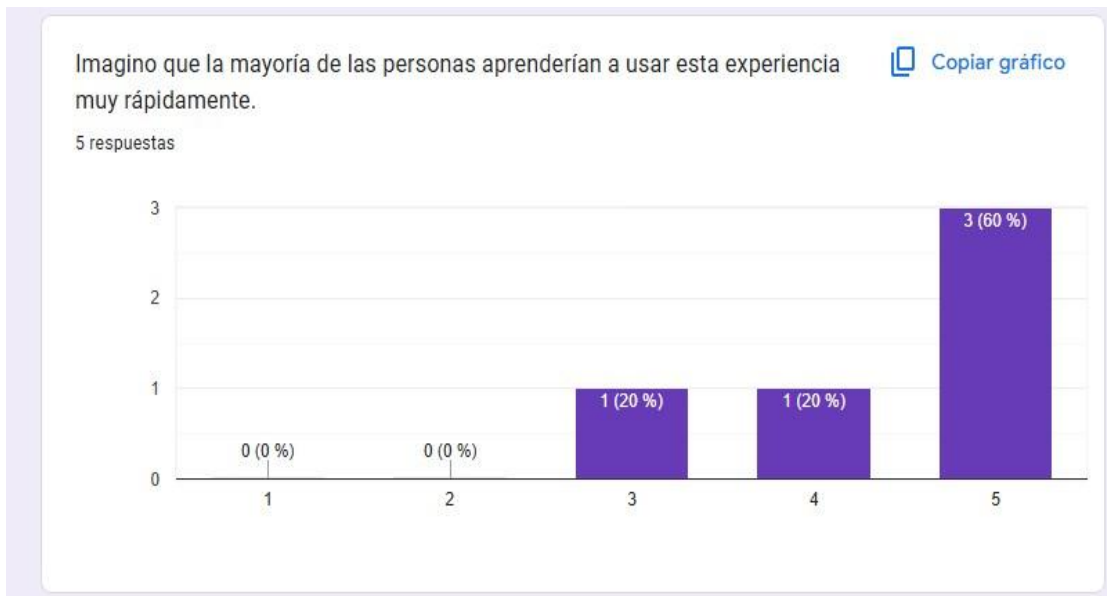


Figura 48

Formulario de usabilidad. Encontré la experiencia complicada de usar.

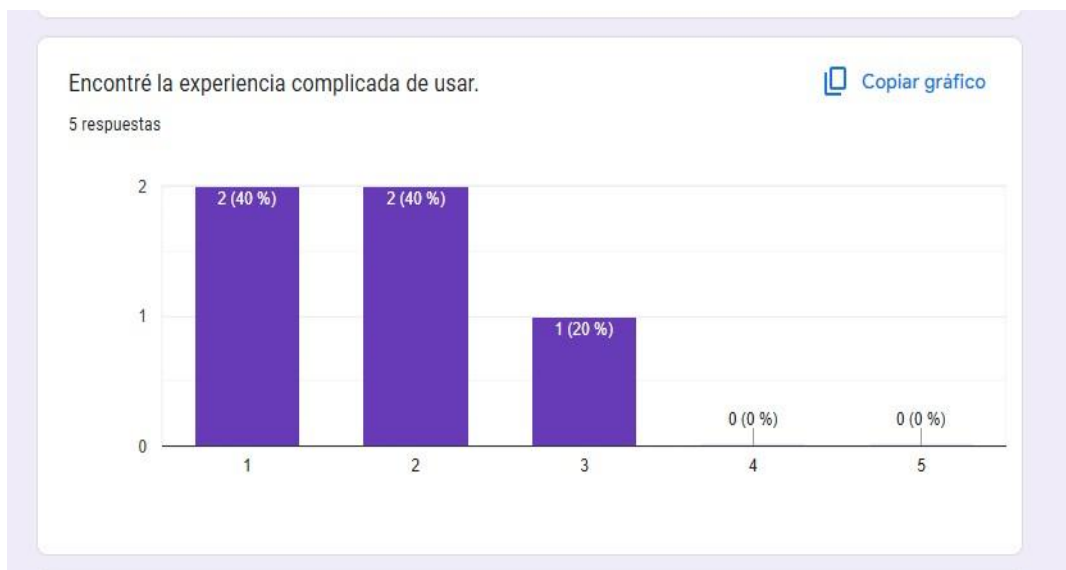


Figura 49

Formulario de usabilidad. Me sentí muy seguro/a usando la experiencia.

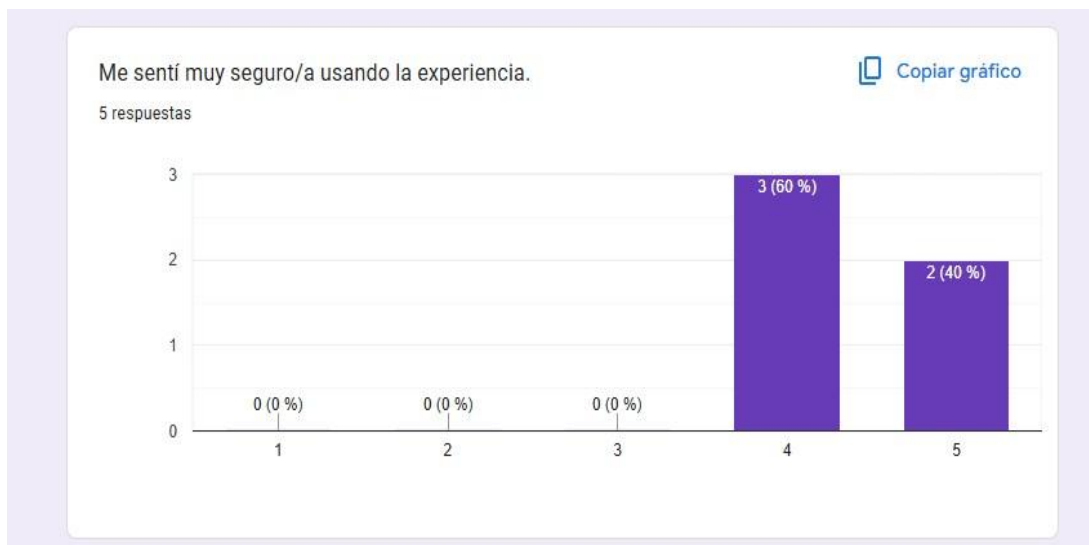


Figura 50

Necesité aprender muchas cosas antes de poder usar la experiencia de manera efectiva.



Las gráficas individuales permiten observar con detalle la distribución de respuestas en cada uno de los ítems de la escala SUS, destacando aspectos de facilidad de uso, complejidad percibida, integración de funciones y confianza en la interacción con el sistema. Al consolidar estos resultados mediante la fórmula estándar de la escala, se obtuvo un puntaje promedio de 80.5, lo cual sitúa la aplicación dentro del rango de usabilidad excelente según la literatura especializada.

Este resultado confirma que, más allá de las variaciones puntuales en ciertos ítems, la percepción general de los estudiantes frente al prototipo es altamente positiva. En consecuencia, se valida que la solución desarrollada no solo cumple con los requerimientos funcionales establecidos, sino que también logra proporcionar una experiencia de usuario adecuada para un contexto educativo en simulación clínica.

Apéndice B. Manual de usuario.

El presente manual tiene como objetivo guiar al usuario en el uso de la aplicación de simulación clínica desarrollada para dispositivos Meta Quest 3. Se describen los pasos previos a la ejecución, las instrucciones iniciales de interacción, el proceso de colocación del ancla espacial y el flujo general de la simulación.

Requisitos previos

Antes de iniciar la aplicación es indispensable contar con una conexión a internet estable.

Esta es necesaria para:

- Permitir el envío de datos y videos al servidor.
- Habilitar el reconocimiento de comandos de voz mediante la plataforma Wit.ai.

Sin una conexión adecuada, algunas funcionalidades esenciales de la aplicación no estarán disponibles.

Preparación del entorno

Previo al inicio de la simulación es necesario realizar un escaneo del entorno (Scene Understanding). La aplicación detecta superficies y objetos predefinidos por el sistema Meta Quest 3. Para este caso, se selecciona la etiqueta “Table”, que corresponde a la camilla donde se ubicará el maniquí o simulador físico. Esta etiqueta se utiliza porque Meta no permite definir etiquetas personalizadas.

El usuario deberá ubicar el simulador en la superficie correspondiente y asegurarse de que la aplicación lo reconozca como una mesa válida.

Tutorial inicial

Al abrir la aplicación, el usuario accede a un tutorial guiado, diseñado para familiarizarlo con las interacciones básicas del dispositivo:

- Pinch: acción de cerrar el pulgar y el índice que se representa en la aplicación al pulsar dos veces el botón principal del control.
- Gaze: un rayo invisible proyectado desde el centro de la frente que permite señalar objetos en la interfaz.
- Comandos de voz: al mirar el ícono de micrófono y activarlo mediante el gaze, el usuario debe pronunciar en voz alta y clara el comando solicitado.

El tutorial finaliza cuando el usuario logra completar estas interacciones y confirma que está listo para avanzar.

Inicio de sesión

Al terminar el tutorial, se muestra la pantalla de login, donde el estudiante debe ingresar sus credenciales de la plataforma SIMA. Tras validar los datos, la aplicación procede a cargar el escenario principal.

Colocación del ancla espacial

En el primer uso es necesario posicionar el ancla espacial que alinea el entorno virtual con el maniquí físico:

- Tomar el control derecho y ubicarlo sobre la superficie de la camilla.
- El sistema muestra un ghost de la pelvis que debe alinearse con el simulador físico.
- Una vez ajustada la posición, presionar el gatillo trasero del control para confirmar.
- El escenario virtual se coloca alrededor de este pivote.

El ancla es persistente entre sesiones, por lo que solo debe configurarse una vez. Si se requiere reubicarlo, el usuario puede reiniciar el proceso pulsando el stick derecho del control.

Flujo de la simulación

Al ingresar al escenario principal, se proyecta un video introductorio que puede ser reproducido o saltado mediante gaze. Posteriormente, aparece la pantalla de selección de momentos clínicos y la barra de control superior (botones de inicio, atrás y pausa).

- Lo recomendable es iniciar en el Momento 1 y continuar de forma secuencial hasta el terminar momento denominado “Trauma”.
- Durante cada momento, la interfaz cambia automáticamente a modo gaze, ya que se asume que el estudiante tendrá las manos ocupadas con el maniquí.
- Algunas decisiones requieren el uso de comandos de voz, para lo cual el usuario debe mirar al micrófono amarillo y pronunciar la instrucción indicada.
- En caso de fallar el reconocimiento (por ejemplo, debido a problemas de conectividad), siempre existe una flecha de continuar que permite avanzar sin quedar bloqueado.

Finalización de la simulación

Al llegar al final del caso clínico, los NPCs dejan de moverse y desaparece la interfaz gráfica. En este punto, el usuario puede salir de la aplicación utilizando los gestos manuales o los controles de Meta Quest 3.

La Tabla 17 es un manual de inicio rápido que resume el proceso para el uso de la aplicación.

Tabla 17

Manual de inicio rápido

Paso	Acción	Descripción
1	Verificar conexión a internet	Asegúrate de estar conectado a una red Wi-Fi estable. Es necesaria para: login en SIMA, envío de datos/videos y comandos de voz con Wit.ai.
2	Preparar el entorno físico	Coloca el maniquí en la camilla de parto. Asegúrate de tener espacio libre alrededor para moverte con seguridad.
3	Iniciar la aplicación	Ponte las gafas Meta Quest 3 y abre la aplicación.
4	Completar el tutorial	Aprende a usar: - Pinch (pulgar + índice). - Gaze (rayo invisible desde la frente). - Comandos de voz (mirar el micrófono y hablar en voz clara).
5	Iniciar sesión	Introduce tus credenciales de la plataforma SIMA y selecciona Ingresar.
Paso	Acción	Descripción
6	Colocar el ancla espacial (<i>solo la primera vez</i>)	Con el control derecho: -Ponlo sobre la camilla (etiqueta “Table”). -Ajusta el ghost de la pelvis con el maniquí físico. -Presiona el gatillo trasero para confirmar.
7	Seleccionar momento clínico	Usa gaze o pinch para elegir el momento desde la interfaz. Se recomienda iniciar en el Momento 1.
8	Interactuar durante la simulación	Usa gaze para botones. Emplea comandos de voz para decisiones clínicas. Si el comando no es reconocido, utiliza la flecha de continuar.
9	Control adicional	En la parte superior derecha encontrarás los botones: Inicio, Atrás, Pausa. Estos funcionan con gaze

10	Finalizar la simulación	Al terminar el último momento, los NPC se detendrán y desaparecerá la UI. Sal de la app usando gestos manuales o el control.
----	-------------------------	--
