

Herramienta soportada en realidad mixta y gamificación para el entrenamiento en artroscopia de rodilla, que permita la categorización de las habilidades adquiridas por médicos residentes de la especialidad de ortopedia.

Jeisson Alejandro Cardenas Reyes

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

Directora

Lola Xiomara Bautista Rozo

Doctora en Automática, Tratamiento de Imágenes y Señales

Codirector

Luis Eduardo Bautista Rojas

Magister en Ingeniería de Sistemas e Informática

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A mi familia que me apoyó constantemente durante el programa académico, sin su sacrificio y esfuerzo no estaría en este punto de mi vida.

A mi directora de tesis, maestra y consejera por años que estuvo constantemente apoyándome académica y emocionalmente además de brindándome oportunidades que ayudaron a cumplir varios de mis sueños.

A mi consejera emocional Diana, por ayudarme a crecer como persona y brindarme diferentes herramientas que me ayudan a ser mejor día a día.

A todas las personas que conocí en el camino y logré hacer un vínculo fuerte con ellas, y me dieron muchas fuerzas para terminar este proceso.

A la Doctora Laura Valencia por el apoyo en las pruebas del proyecto.

“Para tener éxito tu deseo de alcanzarlo debe ser mayor que tu miedo al fracaso”

Bill Cosby

Jeisson Alejandro Cárdenas Reyes

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Planteamiento del proyecto.....	15
1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.2. Justificación	16
1.3. Objetivos.....	17
2. Marco de referencia	18
2.1. Fundamentos Teóricos	18
2.1.1. Artroscopia de rodilla.	18
2.1.2. Habilidades artroscópicas	19
2.1.3. Realidad Mixta.....	22
2.1.4. Gamificación.....	23
2.1.5. Servidor Web Local	25
2.2. Antecedentes del Tema.....	26
3. Metodología	31
3.1. Definición de Roles.....	31
3.2. Etapas de la metodología	33
3.3. Requerimientos	35
3.3.1. Requerimientos Funcionales.....	35
3.3.2. Requerimientos no Funcionales.....	38
3.4. Diseño de la aplicación	39

3.4.1.	Diagrama de casos de uso	39
3.5.	Selección de Elementos Gamificados	40
3.5.1.	Tipo de Gamificación	40
3.5.2.	Tipo de Jugadores	41
3.5.3.	Dinámica	41
3.5.4.	Mecánica	42
3.5.5.	Componentes	42
3.6.	Selección de Métricas para ASSET	43
4.	Resultados	47
4.1.	Arquitectura del sistema	47
4.1.1.	Cámaras OptiTrack	48
4.1.2.	Motive	49
4.1.3.	Marcadores y Rigid Bodies	52
4.1.4.	NatNet	53
4.1.5.	Unity – Realidad Mixta	54
4.1.5.1.	Diseño y Funcionalidad de Dora	55
4.1.6.	HoloLens 2	58
4.1.7.	Dora Extension	58
4.1.7.1.	Diseño y Funcionalidad de Dora Extension	59
4.1.8.	Backend NodeJS	65
4.1.9.	Base de Datos de Mongo	66
4.1.10.	Script Python	66

4.2.	Ventajas y Limitaciones.....	67
4.3.	Análisis de Métricas y Resultados	68
5.	Recomendaciones	74
6.	Trabajo futuro	74
7.	Conclusiones	74
	Referencias Bibliográficas	76

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Requerimiento Funcional Número 1</i>	35
Tabla 2. <i>Requerimiento Funcional Número 2</i>	36
Tabla 3. <i>Requerimiento Funcional Número 3</i>	36
Tabla 4. <i>Requerimiento Funcional Número 4</i>	36
Tabla 5. <i>Requerimiento Funcional Número 5</i>	36
Tabla 6. <i>Requerimiento Funcional Número 6</i>	37
Tabla 7. <i>Requerimiento Funcional Número 7</i>	37
Tabla 8. <i>Requerimiento Funcional Número 8</i>	37
Tabla 9. <i>Requerimiento Funcional Número 9</i>	38
Tabla 10. <i>Requerimiento Funcional Número 10</i>	38
Tabla 11. <i>Requerimiento Funcional Número 11</i>	38
Tabla 12. <i>Requerimiento no Funcional Número 1</i>	39
Tabla 13. <i>Habilidades medibles con las métricas obtenidas basándose en ASSET</i>	45

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Escala de calificación global ASSET. Fuente: [1]	21
Figura 2. Espectro de realidad y virtualidad. Fuente: [8]	23
Figura 3. “Gamificación” entre entretenimiento y juego, su totalidad y sus partes. Fuente: [9].	24
Figura 4. Elementos de la gamificación. Fuente: [11]	25
Figura 5. Sistema SKATS en uso. Fuente: [13].....	27
Figura 6. Simulador de realidad virtual en uso. Fuente: [14]	28
Figura 7. Simulador de realidad virtual en uso. Fuente: [14]	28
Figura 8. Diferentes Módulos del VitraMed ArthroS. Fuente: [19]	29
Figura 9. Logo DORA. Fuente: Autor del proyecto.	30
Figura 10. Roles de la Metodología SCRUM. Fuente: [20]	32
Figura 11. Diagrama Casos de Uso Aplicativo. Fuente: Autor del proyecto.	40
Figura 12. Métricas recolectadas de una práctica de Dora. Fuente: Autor del proyecto.	46
Figura 13. Arquitectura del Proyecto. Fuente: Autor del proyecto.....	47
Figura 14. Cámaras OptiTrack. Fuente: Autor del proyecto.	48
Figura 15. Montaje de las Cámaras Optitrack. Fuente: Autor del proyecto.	49
Figura 16. Contraseña de Motive. Fuente: Autor del proyecto.....	50
Figura 17. Vara de Calibración. Fuente: Autor del proyecto.....	50
Figura 18. Volumen de Captura en Motive. Fuente: Autor del proyecto.	51
Figura 19. Escuadra de Calibración. Fuente: Autor del proyecto.....	51

Figura 20. Motive en Funcionamiento. Fuente: Autor del proyecto.....	52
Figura 21. Rigid Bodies de un Artroscopio y un Palpador. Fuente: Autor del proyecto.....	53
Figura 22. Componentes de NatNet. Fuente: [15]	53
Figura 23. Interacción Pantalla Inicial Dora. Fuente: Autor del proyecto.....	56
Figura 24. Torre de Artroscopia de Dora. Fuente: Autor del proyecto.....	56
Figura 25. Dora en uso. Fuente: Autor del proyecto.....	57
Figura 26. Gafas HoloLens 2. Fuente: Autor del proyecto.....	58
Figura 27. Interfaz Inicio Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.	59
Figura 28. Interfaz Inicio de Sesión Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.....	60
Figura 29. Interfaz de Registro Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.	60
Figura 30. Recuperación Contraseña Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.	61
Figura 31. Primera Vista Nueva Cuenta Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.	61
Figura 32. Menú Inicial Nueva Cuenta Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.....	62
Figura 33. Menú Inicial Cuenta Antigua. Fuente: Autor del proyecto.	62
Figura 34. Interfaz de Logros Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.	63
Figura 35. Interfaz de Perfil Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.	63
Figura 36. Interfaz de Progreso Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.	64
Figura 37. Informe Basado en ASSET Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.	64
Figura 38. Activación del Servidor Funcional. Fuente: Autor del proyecto.....	66
Figura 39. Puntuación basada en percentiles del 20% para cada métrica, target a target. Fuente: Autor del proyecto.	69
Figura 40. Habilidades Artroscópicas Medidas por Dora. Fuente: Autor del proyecto.	70

Figura 41. Desempeño de los Usuarios en el Target5. Fuente: Autor del proyecto.	71
Figura 42. Desempeño Final Doctora. Fuente: Autor del proyecto.	72
Figura 43. Gráfico de puntuación por intentos agrupados por estudiante. Fuente: Autor del proyecto.....	72
Figura 44. Puntajes Finales Dora. Fuente: Autor del proyecto.....	73

Glosario

Artroscopia de rodilla: cirugía en la cual se hace uso de una cámara pequeña para observar dentro de la rodilla.

Gamificación: uso de componentes propios de los juegos en escenarios diferentes a los juegos.

Realidad Mixta: tecnología que busca fusionar el mundo real y virtual mediante un modelo 3D de la realidad, al que se añade información virtual.

Sistema: conjunto de elementos que interactúan de manera organizada para cumplir con un objetivo común.

Resumen

Título: Herramienta soportada en realidad mixta y gamificación para el entrenamiento en artroscopia de rodilla, que permita la categorización de las habilidades adquiridas por médicos residentes de la especialidad de ortopedia. *

Autor: Jeisson Alejandro Cárdenas Reyes**

Palabras Clave: Artroscopia de rodilla, realidad mixta, gamificación, clasificación, habilidades artroscópicas, herramienta de evaluación ASSET.

Descripción:

En la actualidad, la calificación de las habilidades artroscópicas de los residentes de la especialidad de ortopedia no es netamente objetiva, ya que estas se basan en la calificación subjetiva del docente a cargo al verlos realizar el procedimiento. Dichas habilidades solo pueden ser desarrolladas mediante la práctica, la cual es muy reducida en los residentes de ortopedia, generando así una curva de aprendizaje complicada. No obstante, las nuevas tecnologías como la realidad mixta pueden generar un apoyo en este tipo de situaciones donde la práctica se facilita al hacer el uso de un simulador que se acerque a la realidad. En este trabajo de investigación se propone un escenario basado en realidad mixta y que a su vez implementa elementos de la gamificación para incentivar la motivación del residente para usar la herramienta y en consecuencia, mejorar sus habilidades artroscópicas, además de contar con un calificador automático que tiene en cuenta diferentes métricas y basa sus resultados en la herramienta de evaluación de habilidades de cirugía artroscópica (ASSET), dándole así al residente una noción de su desempeño y poder ver su mejora progresiva haciendo uso de la herramienta al mejorar sus habilidades artroscópicas tales como, la destreza con la cámara, destreza con el instrumento, destreza bimanual, el flujo del procedimiento y la calidad del mismo.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Directora: Lola Xiomara Bautista Roza, PhD en Automática, Tratamiento de Imágenes y Señales. Codirector: Luis Eduardo Bautista Rojas, Magister en Ingeniería de Sistemas e Informática.

Abstract

Title: Tool supported in mixed reality and gamification for knee arthroscopy training, which allows the categorization of the skills acquired by resident physicians in the orthopedics specialty.*

Author(s): Jeisson Alejandro Cárdenas Reyes **

Key Words: Knee arthroscopy, mixed reality, gamification, classification, arthroscopic skills, ASSET assessment tool.

Description:

Currently, the assessment of arthroscopic skills among orthopedic resident physicians is not purely objective, as it relies on the subjective evaluation of the overseeing instructor while observing them perform the procedure. However, these skills can only be honed through practice, which is quite limited for orthopedic residents, resulting in a rather complex learning curve. Nevertheless, emerging technologies like mixed reality can offer support in such scenarios where practice is facilitated using a simulator that closely mimics reality. This research work proposes a mixed reality-based scenario that also incorporates gamification elements to enhance resident's motivation to utilize the tool and subsequently enhance their arthroscopic skills. Furthermore, the tool includes an automated evaluator that considers various metrics and bases its outcomes on the Arthroscopic Surgery Skill Evaluation Tool (ASSET), providing residents with insights into their performance and enabling them to track their gradual improvement by refining skills like camera dexterity, instrument handling, bimanual dexterity, procedural flow, and overall quality.

* Bachelor Thesis

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Directora: Lola Xiomara Bautista Roza, PhD en Automática, Tratamiento de Imágenes y Señales. Codirector: Luis Eduardo Bautista Rojas, Magister en Ingeniería de Sistemas e Informática.

Introducción

En los últimos años se ha visualizado un amplio avance en las tecnologías del escenario virtual, siendo así aplicadas en diferentes campos, uno de estos campos mencionados anteriormente es la formación médica, más específicamente la exploración artroscópica de rodilla. Al ser una cirugía mínimamente invasiva se convierte en un procedimiento altamente utilizado, además, tiene muy poco tiempo de recuperación y es muy poco probable que se presenten complicaciones durante la operación. Las diferentes habilidades que un residente de ortopedia debe adquirir para la buena ejecución de una exploración artroscópica de rodilla suelen ser entrenadas en simuladores físicos con cadáveres y animales, o simuladores virtuales, en los cuales el usuario empieza a interactuar con un escenario ficticio que se acerca a la realidad, y le ayuda a practicar el procedimiento sin presentar el riesgo de daños a un paciente real. [2]

Los métodos para validar que un residente en ortopedia ha adquirido diferentes habilidades han sido bastante criticados y se han tratado de generar estrategias las cuales ayudan a validar el manejo de las habilidades de los residentes; uno de estos métodos ha sido el ASSET, con el cual se puede desarrollar un análisis más profundo a cada una de las habilidades requeridas y poder así ver el desempeño general. En ASSET, una persona es la que realiza esta calificación y validación de las habilidades del residente dependiendo de su desempeño en una práctica de artroscopia. [1]

Para este caso en específico, la Universidad Industrial de Santander ha ideado hacer uso de estas herramientas tecnológicas para disminuir los problemas que pueden enfrentar los residentes en ortopedia en su proceso de aprendizaje, por esto se plantea desarrollar en este proyecto una herramienta tecnológica basada en realidad mixta, que haga uso de la gamificación ya que cuenta

con estrategias que ayudan al usuario a incentivarse y cumplir con el entrenamiento para mejorar sus habilidades artroscópicas, donde el estudiante podrá visualizar su progreso y junto con el médico a cargo podrá ver un informe basado en el método ASSET para medir sus habilidades artroscópicas, el cual será realizado por un calificador automático.

El documento sigue una estructura organizada con varias secciones. Comienza planteando el problema, su justificación y los objetivos. Luego, pasa al marco de referencia, donde se exploran los fundamentos teóricos relacionados con la artroscopia de rodilla, habilidades artroscópicas, realidad mixta, gamificación y servidor web local, junto con una revisión de antecedentes del tema. La metodología se describe a continuación, abarcando la definición de roles, las etapas metodológicas y los requerimientos funcionales y no funcionales, así como la selección de elementos gamificados y métricas para ASSET. Los resultados del proyecto se presentan en la sección correspondiente, donde se describen la arquitectura del sistema, las tecnologías utilizadas, ventajas y limitaciones. El documento concluye con recomendaciones para el futuro y las conclusiones.

1. Planteamiento del proyecto

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, las cirugías artroscópicas son unas de las más realizadas en la práctica clínica ortopédica. No obstante, existe una carencia de métodos válidos y confiables para evaluar la habilidad artroscópica de los cirujanos ortopédicos, ya que estas requieren nuevas destrezas que tienen diferentes curvas de aprendizaje y requieren métodos de formación externos al quirófano. [1] [2]

La falta de práctica suficiente en técnicas quirúrgicas durante el periodo de aprendizaje es la mayor barrera que enfrentan los estudiantes para lograr rápidamente la excelencia en artroscopia, ya que la visualización disponible es una representación bidimensional en un monitor de vídeo con manipulación tridimensional de la cámara y los instrumentos; los cirujanos requieren desarrollar habilidades psicomotoras que les permitan maniobrar en medio de tejidos lesionados, fibras y fluidos. Asimismo, se tiene en cuenta la responsabilidad médica, la cual limita a los especialistas durante la cirugía permitir al practicante con poca experiencia operar en sus pacientes. Por esa razón el aprendiz pasa a un rol de observador en una cirugía que rara vez sobrepasa la hora de intervención, limitando aún más la oportunidad de aprendizaje práctico. [3] [4]

Tradicionalmente, dichas habilidades quirúrgicas se han evaluado en el quirófano mediante la supervisión y la realimentación. Este método ha sido criticado por ser subjetivo y no representar el nivel real de las habilidades. Otra forma de evaluar el entrenamiento de estas habilidades específicas es mediante un número predeterminado de intervenciones quirúrgicas, lo que ignora por completo que no todos los individuos pueden alcanzar un nivel considerado como apto durante

el número de procedimientos asignados, lo que puede terminar en complicaciones durante la cirugía, como la ruptura de instrumentos o lesiones al paciente. [2] [5]

Hasta ahora, los métodos de evaluación objetiva no se han adoptado de forma generalizada en la comunidad clínica, debido a una falta de experiencia, a la infraestructura inadecuada para su aplicación y al coste de estas. También se debe a que los educadores tienen una postura rígida ante estos métodos ya que aún no se ha definido completamente cómo y dónde pueden ser empleados. [2]

1.2. Justificación

En el ámbito de la formación académica, el uso de herramientas tecnológicas ha demostrado ser un recurso valioso para el aprendizaje y fortalecimiento de habilidades y conocimientos en diversas especialidades, incluyendo la medicina. En ese sentido, las herramientas de realidad virtual y aumentada se presentan como una alternativa altamente efectiva para la formación de los futuros médicos, ya que les proporciona una experiencia enriquecedora que complementa su formación teórica y les permite adquirir habilidades prácticas de manera segura.

Para este proyecto en específico se pretende desarrollar una herramienta en realidad **mixta** que sirva como apoyo para la formación de los estudiantes de la especialidad de ortopedia con el fin de mejorar las habilidades que estos deben tener al momento de realizar una exploración artroscópica de rodilla, acoplando diferentes componentes de la gamificación para lograr un proceso de aprendizaje amigable en el cual se busca que al estudiante se le facilite adquirir y retener conocimientos de una manera efectiva. Además de intentar dar una evaluación objetiva a estas habilidades con el uso del calificador automático basado en la herramienta ASSET.

En concreto, el uso de herramientas tecnológicas como la realidad mixta puede enriquecer y fortalecer el proceso de aprendizaje de los estudiantes de medicina en específico de la especialidad en ortopedia. Estas herramientas les brindan oportunidades de práctica segura en entornos virtuales, facilitan el estudio de la anatomía de la rodilla y permiten la evaluación objetiva de sus habilidades artroscópicas. Como resultado, su formación estará respaldada por una experiencia práctica rigurosa y completa que los preparará para intervenir a pacientes reales con seguridad y precisión.

1.3. Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una herramienta fundamentada en gamificación y realidad mixta para el entrenamiento en exploración artroscópica de rodilla, que permita la evaluación de habilidades adquiridas por médicos residentes de la especialidad de ortopedia.

Objetivos específicos

- Diseñar una herramienta interactiva en realidad mixta para el entrenamiento en exploración artroscópica de rodilla a través de técnicas de gamificación.
- Definir y recolectar un conjunto de métricas con el fin de monitoreo y evaluación al estudiante en el proceso de la exploración artroscópica de rodilla.
- Implementar e integrar un calificador automático a la herramienta basado en el Arthroscopic Surgical Skill Evaluation Tool (ASSET) con el cual se puedan estimar las habilidades psicomotoras del estudiante apoyándose en su desempeño al hacer uso de esta.

2. Marco de referencia

Para tener una mejor comprensión del contenido en cual se basará el proyecto, se realizará una descripción de los fundamentos teóricos y los antecedentes del tema.

2.1. Fundamentos Teóricos

A continuación, se hará una presentación de los fundamentos teóricos que guían el tema específico a estudiar, la cual servirá de soporte para el análisis y la interpretación de los resultados del proyecto. En primer lugar, la conceptualización girará en torno a términos relacionados con el procedimiento médico y posteriormente se definirán los términos asociados a la tecnología que se utilizará, Realidad Mixta dirigida al entrenamiento en medicina y simuladores virtuales, elementos que han demostrado un papel clave en el campo. Los términos por considerar son, Artroscopia de rodilla, Habilidades artroscópicas, Realidad mixta y Gamificación.

2.1.1. *Artroscopia de rodilla.*

La artroscopia de rodilla se define como una cirugía mínimamente invasiva en la cual se hace uso de una cámara diminuta para observar el estado interno de la rodilla, dicho procedimiento se realiza con el fin de diagnosticar y tratar diferentes problemas articulares como, por ejemplo: roturas meniscales, lesiones de los ligamentos, lesiones del cartílago, cuerpos libres, alteraciones del centraje de la rótula, sinovitis, fracturas e infecciones. [6]

Es un procedimiento quirúrgico demandante técnicamente y constituye uno de los procedimientos ortopédicos más comunes en la actualidad. Requiere coordinación visoespacial para manipular instrumentos mientras se interpretan estructuras en tercera dimensión en una imagen en dos dimensiones. [7]

2.1.2. Habilidades artroscópicas

Los ortopedistas son cada vez más conscientes de su deseo y responsabilidad de brindar al paciente el mejor tratamiento posible, y anhelan incorporar los principios, técnicas y habilidades artroscópicas a su portafolio de tratamientos. [3] Ha sido posible determinar que, las habilidades artroscópicas son particularmente difíciles para algunos cirujanos. Esto puede deberse en parte a su desafío inherente, porque la visualización artroscópica actual es una representación bidimensional en un monitor de video con manipulación tridimensional de la cámara y los instrumentos. [4]

La enseñanza médica experimentó diferentes cambios de paradigmas en las últimas décadas, principalmente la enseñanza de las habilidades quirúrgicas. Cambios como restricciones en los horarios de trabajo, mayor riesgo en demandas medicolegales, mayor costo de un quirófano y mayor dificultad técnica de algunos procedimientos quirúrgicos, afectan directamente al aprendizaje de las habilidades quirúrgicas que el residente debe adquirir. [7]

Tradicionalmente las habilidades artroscópicas se han evaluado en el quirófano mediante uno de los siguientes dos métodos: el primero, consta en que el residente debe lograr un número predeterminado de procedimientos quirúrgicos, el cual no representa una confianza absoluta, ya que no todos los individuos logran dominar este tipo de habilidades en un número específico de cirugías; mientras el segundo método consta en que un cirujano experimentado observa al residente mientras este realiza la práctica, pero dada la subjetividad del método ha sido criticado y se ha demostrado que el nivel real de habilidad no es realmente evaluado. [5]

La artroscopia a diferencia de otras técnicas quirúrgicas se presta para ser aprendida en modelos artificiales, como los simuladores. Teóricamente, el uso de estos, permitirían a futuros

profesionales en artroscopia practicar tanto como sea necesario para adquirir la habilidad y dominar los procedimientos quirúrgicos hasta el nivel de competencia requerido para operar pacientes. [3]

Existe una herramienta de evaluación de habilidades de cirugía artroscópica llamada (ASSET) por sus siglas en inglés, la cual fue creada para ser utilizada como una evaluación de la habilidad artroscópica, fue diseñada para generalizar múltiples procedimientos artroscópicos, tanto en el quirófano como en un entorno simulado. ASSET incluye 8 dominios los cuales pueden ser evaluados utilizando un video grabado con la cámara artroscópica. Estos son: Seguridad del procedimiento, campo de visión, destreza de la cámara, destreza del instrumental, destreza bimanual, flujo del proceso, calidad del proceso y anatomía. [1] Cada uno de estos componentes se evalúan en un rango (novato, competente o experto) dependiendo del desempeño del practicante a la hora de realizar el procedimiento; dichos rangos son dados por la persona que verifica los videos del procedimiento y evalúa de esta forma al residente, como se muestra en la siguiente figura.

Safety	1 – Novice	2	3 - Competent	4	5- Expert
	Significant damage to articular cartilage or soft tissue		Insignificant damage to articular cartilage or soft tissue		No damage to articular cartilage or soft tissue
Field of View	1 – Novice	2	3 - Competent	4	5- Expert
	Narrow field of view, inadequate arthroscope or light source positioning		Moderate field of view, adequate arthroscope and light source positioning		Expansive field of view, optimal arthroscope and light source positioning
Camera Dexterity	1 – Novice	2	3 - Competent	4	5- Expert
	Awkward or graceless movements, fails to keep camera centered and correctly oriented		Appropriate use of camera, occasionally needs to reposition		Graceful and dexterous throughout procedure with camera always centered and correctly oriented
Instrument Dexterity	1 – Novice	2	3 - Competent	4	5- Expert
	Overly tentative or awkward with instruments, unable to consistently direct instruments to targets		Careful, controlled use of instruments, occasionally misses targets		Confident and accurate use of all instruments
Bi-Manual Dexterity	1 – Novice	2	3 - Competent	4	5- Expert
	Unable to use both hands or no coordination between hands		Uses both hands but occasionally fails to coordinate movement of camera and instruments		Uses both hands to coordinate camera and instrument positioning for optimal performance
Flow of Procedure	1 – Novice	2	3 - Competent	4	5- Expert
	Frequently stops operating or persists without progress, multiple unsuccessful attempts prior to completing tasks		Steady progression of operative procedure with few unsuccessful attempts prior to completing tasks		Obviously planned course of procedure, fluid transition from one task to the next with no unsuccessful attempts
Quality of Procedure	1 – Novice	2	3 - Competent	4	5- Expert
	Inadequate or incomplete final product		Adequate final product with only minor flaws that do not require correction		Optimal final product with no flaws
Autonomy	1	2	3		
	Unable to complete procedure even with intervention(s)	Able to complete procedure but required intervention(s)	Able to complete procedure without intervention		
Added Complexity of Procedure					
1		2		3	
No difficulty		Moderate difficulty (mild inflammation or scarring)		Extreme difficulty (severe inflammation or scarring, abnormal anatomy)	

Figura 1. **Escala de calificación global ASSET.** Fuente: [1]

Cada uno de los rangos para 7 dominios cuenta con un puntaje de 1 a 5 y para el último dominio definido como anatomía, se considera una puntuación de 1 a 3, teniendo así, una mínima puntuación de 8 y máxima puntuación de 38.

2.1.3. Realidad Mixta

La realidad mixta (MR por sus siglas en inglés), es un concepto el cual combina dos tecnologías que son la realidad virtual y la realidad aumentada.

Para entender la realidad mixta, es necesario conocer las tecnologías de las cuales toma elementos para fundamentarse.

Realidad Virtual: El objetivo de la realidad virtual es una inmersión total donde la sensación que genera al usuario es la de un mundo completamente distinto al que se encuentra en realidad a través de una simulación de un ambiente tridimensional.

Realidad Aumentada: El objetivo de la realidad aumentada es proporcionar información adicional de manera virtual basándose en el entorno real del usuario, generando a este una sensación de descubrimiento de datos complementarios más allá de lo que la realidad le puede ofrecer.

Entendiendo así la realidad mixta como la tecnología que permite la interacción y manipulación de un ambiente real y virtual en simultaneidad, pudiendo así escanear el entorno para obtener más datos como visualizarlos a través de un dispositivo para una inmersión más profunda. [8]

Reality – Virtuality Spectrum

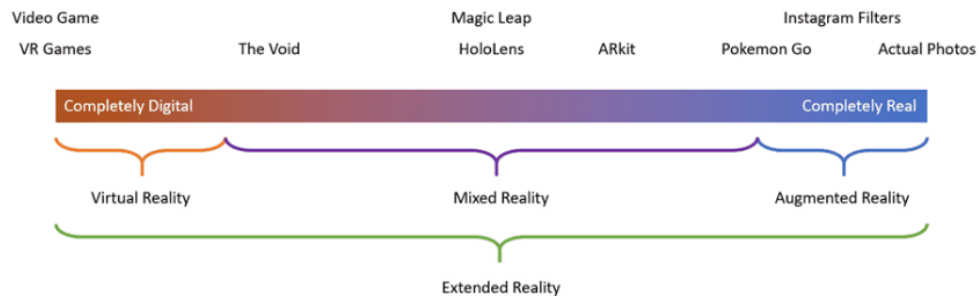


Figura 2. **Espectro de realidad y virtualidad.** Fuente: [8]

2.1.4. Gamificación

La gamificación se define como el diseño de estrategias que usan elementos propios de los juegos para enfoques no lúdicos, con el fin de inducir comportamientos en los usuarios. [9]

Es necesario hacer énfasis en que la gamificación no se encuentra completamente orientada a la realización de objetivos sin tener en cuenta el componente de entretenimiento que le caracteriza, como lo haría un simulador, el cual simplemente se establece como una representación de la realidad y pretende tener un comportamiento similar al sistema original. [10]

También existen los juegos serios los cuales tienen un alto nivel del componente de jugabilidad mostrado en la figura 3, pero la diferencia es que estos son juegos en su totalidad, diseñados con una finalidad que trasciende al entretenimiento; mientras tanto los diseños lúdicos y los juguetes, están totalmente inmersos en el componente de entretenimiento y no presentan un objetivo más allá de pasar un buen momento. [9]

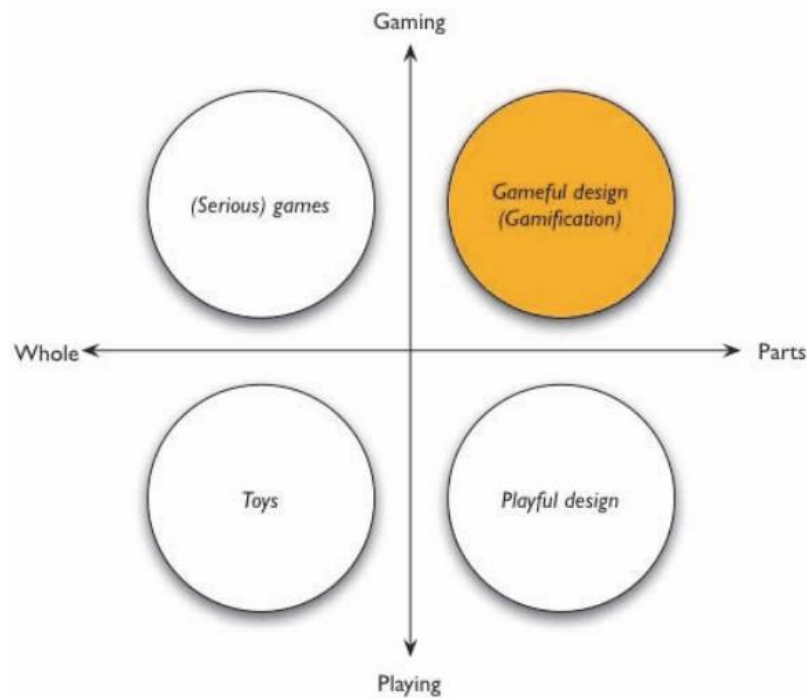


Figura 3. “Gamificación” entre entretenimiento y juego, su totalidad y sus partes. Fuente: [9]

Estas partes o elementos de los juegos empleados en la gamificación pueden ser divididos en tres unidades, definidas como: mecánica, dinámica y componentes, cada una de estas unidades cuenta con diferentes estrategias y recursos. [11] La mecánica se define como los materiales básicos como reglas, metodologías y funcionamiento. La dinámica por su parte hace referencia al contexto en el que se desarrolla la gamificación, así como los factores que motivan al usuario. Para concluir, los componentes son recursos para diseñar la actividad práctica.

Elementos de la gamificación	Ejemplos
Componentes	Avatar
	Puntos
	Insignias
	Regalos
	Desbloqueo de contenido
	Límite de tiempo
	Niveles
	Misiones
	Tablas de clasificación
	Barras de progreso
Mecánicas	Competición
	Colección
	Cooperación
	Construcción
	Desafíos
	Recompensas
	Prueba y error
	Suerte
	Turnos
Dinámicas	Narrativa
	Emociones
	Progresión
	Restricciones
	Retroalimentación

Figura 4. **Elementos de la gamificación.** Fuente: [11]

2.1.5. Servidor Web Local

Software que alberga y entrega contenido web, incluyendo páginas, archivos y aplicaciones, dentro de una red privada o en una computadora personal. Este servidor web se emplea principalmente con fines de pruebas, desarrollo y para acceder a contenido en entornos específicos. [16]

- **MongoDB:** MongoDB es una base de datos NoSQL de código abierto que almacena datos en documentos JSON binarios conocidos como BSON, ideal para manejar datos no estructurados ya que brinda flexibilidad en la estructura de almacenamiento. [17]

MongoDB destaca en situaciones que involucran datos extensos debido a su capacidad para gestionar estructuras de datos flexibles y de escalar horizontalmente. Esto permite que los datos largos o complejos se almacenen de manera eficiente en un solo documento, lo que simplifica la consultas y actualizaciones a la información.

- **NodeJS:** Node.js es un entorno de tiempo de ejecución de código abierto que permite crear aplicaciones y servicios del lado del servidor utilizando JavaScript. A través de su arquitectura basada en eventos y operaciones asíncronas brinda eficiencia y escalabilidad, siendo especialmente útil para aplicaciones en tiempo real y servicios web. [18]

2.2. Antecedentes del Tema

Las recientes tendencias en la educación exigen métodos y tecnologías innovadoras para implementar el aprendizaje centrado en el estudiante, de esta forma, los proyectos colaborativos son reconocidos como excelentes estimuladores en la interacción que existe mediante estudiantes y el aprendizaje independientemente de su ubicación física. [12]

El sistema de entrenamiento de artroscopia de rodilla de Sheffield SKATS por sus siglas en inglés, es un simulador el cual ofrece un medio seguro para entrenar las habilidades artroscópicas básicas (exploración artroscópica de rodilla), ya que éste hace uso de un par de instrumentos, el artroscopio (cámara) para poder ver la articulación y un palpador para poder explorar la condición de las estructuras internas de la rodilla. SKATS tiene como objetivo familiarizar a los alumnos con la rodilla en un entorno simulado para la obtención de habilidades básicas como la navegación y la orientación en un espacio tridimensional, así como la habilidad de triangulación con los elementos quirúrgicos. [13]

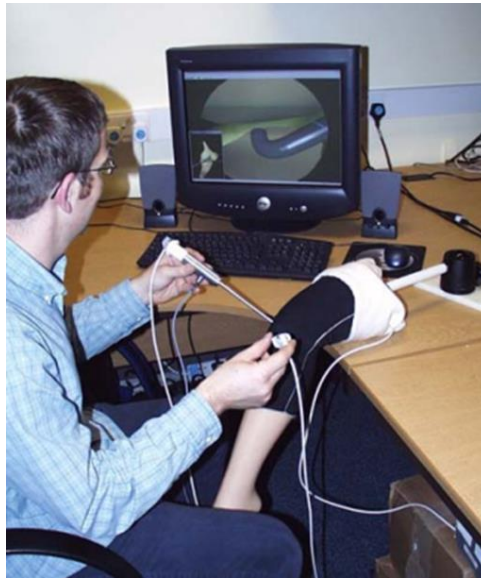


Figura 5. **Sistema SKATS en uso.** Fuente: [13]

En el artículo publicado en el 2018 por Gonzalez, D. C. y Garnique, L. V. llamado Development of a simulator with HTC Vive using gamification to improve the learning experience in medical students, se desarrolló un simulador para la cirugía de ligamentos cruzados utilizando el HTC Vive (realidad virtual) como una herramienta de aprendizaje para los estudiantes de medicina; los resultados obtenidos a partir de diferentes usos de la herramienta permitieron evidenciar que el uso de las técnicas de gamificación ayudaron a que los estudiantes se sintieran más motivados a utilizar el simulador teniendo en cuenta su componente de aprendizaje. Para este proceso en concreto se tomó como criterio de evaluación la precisión, el tiempo, los aciertos y la secuencia de los pasos. [14]



Figura 6. **Simulador de realidad virtual en uso.** Fuente: [14]



Figura 7. **Simulador de realidad virtual en uso.** Fuente: [14]

VirtaMed es una compañía de Suiza que se dedica a la creación y fabricación de simuladores médicos extremadamente realistas, diseñados para la formación de profesionales de la salud. Estos simuladores permiten a los cirujanos practicar con herramientas auténticas en un entorno seguro antes de llevar a cabo procedimientos en pacientes reales. [19]

Desde el 2013 esta compañía ha estado creando diferentes módulos y plataformas para el entrenamiento médico haciendo uso de la realidad virtual no inmersiva, como por ejemplo el VirtaMed ArthroS™ FAST, que se enfoca en las habilidades básicas de triangulación y correcto movimiento de las herramientas para la intervención quirúrgica, otro ejemplo es el VirtaMed ArthroS™ Knee, que se enfoca en procedimientos de artroscopia de rodilla, otra característica

importante de estos productos es que hacen uso de la herramienta de evaluación ASSET para entregar una puntuación objetiva a los usuarios que hacen uso de la misma. [19]

La herramienta ha sido desarrollada por una empresa privada que usa diferentes tecnologías con el objetivo lograr un simulador de alta fidelidad. Lo anterior da como resultado un alto costo, llegando así el VirtaMed ArthroS™ a rondar los \$114.000 dólares, aproximadamente 450 millones de pesos colombianos.



Figura 8. **Diferentes Módulos del VirtaMed ArthroS.** Fuente: [19]

Desde el 2020 se viene trabajando en la Universidad Industrial de Santander en un proyecto basado en Realidad Mixta, basado en el entrenamiento de las habilidades artroscópicas, en específico en la exploración artroscópica de rodilla, dicho proyecto se encuentra dirigido por la Escuela de Diseño Industrial y la Escuela de Ingeniería de Sistemas, en conjunto, tanto maestros

como estudiantes de ambas carreras integran los requerimientos de los doctores que podrían hacer uso de la herramienta.

Dicho proyecto ha sido determinado como DORA, el cual es un acrónimo de (Aplicación Didáctica para Operación Artroscópica de Rodilla).



Figura 9. **Logo DORA.** Fuente: Autor del proyecto.

3. Metodología

En el desarrollo de este proyecto de investigación planteado se usó la metodología SCRUM, ya que por su metodología ágil permite realizar cambios dado el caso de que los requisitos empiecen a cambiar, además de las entregas periódicas que ayudan a obtener resultados óptimos en corto tiempo. Lo cual permite trabajar de manera idónea con equipos multidisciplinarios de manera efectiva.

Cabe resaltar que este proyecto es integrado con la escuela de Diseño Industrial, específicamente con el proyecto titulado: *Aplicación interactiva para el entrenamiento de residentes de ortopedia en el procedimiento de exploración artroscópica de rodilla* realizado por Julián Alberto Núñez De Villavicencio Castiñeyra y Silvia Lorena Rodríguez Chaparro. Por lo tanto, la identidad del aplicativo, los modelos 3D, la propuesta de diseño de la interfaz y la usabilidad del proyecto es el trabajo de los compañeros de diseño en su versión Alfa de este aplicativo denominado como DORA.

3.1. Definición de Roles.

Dentro de la metodología SCRUM, cada persona involucrada en el proyecto debe tener un rol específico. Estos roles definen las tareas y limitaciones de cada miembro del equipo, otorgando responsabilidades específicas que deben ser cumplidas. El equipo se compone de cuatro roles que son [20] :

- Un cliente, su función es ser la fuente crucial de información para el equipo, y todas las actividades de la organización se orientan en torno a sus requerimientos. A pesar de intervenir en el proyecto, no forma parte del Equipo de Scrum.

- Un Product Owner, su función es garantizar que el producto que se está creando aporte un beneficio significativo a la organización. Para lograr esto, es crucial que esta persona posea una comprensión precisa de los elementos que deben ser desarrollados para cumplir con los objetivos establecidos.
- Un Scrum Master, su función es asegurar la eficacia y eficiencia del equipo, brindando apoyo para una comprensión más profunda de la teoría, las prácticas y las reglas.
- Un Equipo de Desarrollo conformado por un equipo interdisciplinario de profesionales. Su función principal es crear y entregar un producto al final de cada sprint.

Para este trabajo en específico, el rol de clientes lo cumple el Doctor que a su vez es profesor de la especialidad de Ortopedia, además de los estudiantes de diseño que realizaron la fase Alfa. El Product Owner es un rol desempeñado por la directora del proyecto, el codirector del proyecto y el autor de este. Para el Scrum Master se cuenta con el apoyo de la directora del proyecto y finalmente el equipo de desarrollo que es el autor del proyecto.

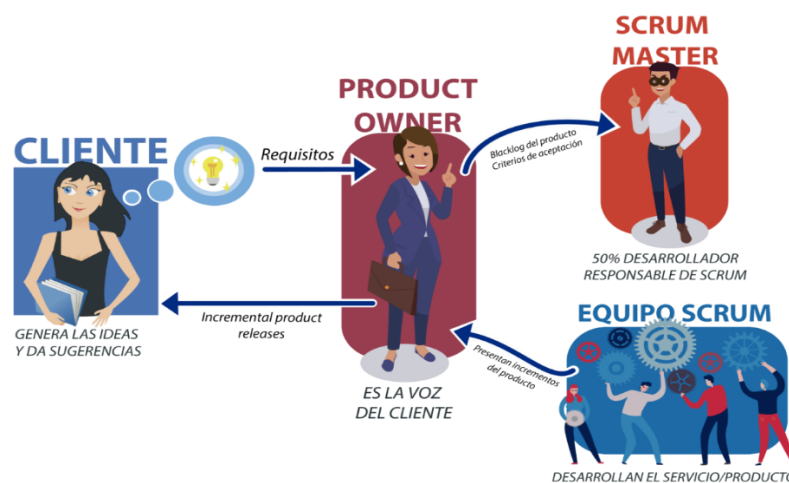


Figura 10. **Roles de la Metodología SCRUM.** Fuente: [20]

3.2. Etapas de la metodología

En el desarrollo de este proyecto se llevaron a cabo varias etapas que se describen a continuación.

- **Búsqueda y selección de elementos de gamificación:** Esta fase se desarrolló en conjunto con los estudiantes de la escuela de Diseño Industrial, en la cual se propuso emplear diferentes elementos gamificados para incentivar y enriquecer la experiencia del usuario al usar la herramienta, además de definir correctamente las mecánicas, dinámicas y complementos de la gamificación teniendo en cuenta el contexto del proyecto y como estos pueden apoyar la motivación de los usuarios.
- **Fase de desarrollo de la herramienta en realidad mixta:** Al ser un trabajo interdisciplinario se tuvo en cuenta que programar algunas interacciones necesarias para el correcto desarrollo y flujo de la aplicación era la responsabilidad del programador, mientras que el flujo del proceso quirúrgico, las propuestas de diseño de la interfaz, la usabilidad y el UI/UX era responsabilidad de los diseñadores.
- **Análisis de requerimientos:** Teniendo en cuenta los requerimientos del especialista encargado y de los diseñadores, se realizaron las descripciones de cada requerimiento funcional y no funcional en tablas para representar las actividades del software. Estas tareas se implementaron en la herramienta, y durante el proceso se realizaron modificaciones debido a los cambios continuos. El trabajo se llevó a cabo a lo largo de varias sesiones, aplicando la metodología ágil SCRUM para manejar los ajustes y cambios de manera eficaz.
- **Definición y recolección de métricas:** Teniendo en cuenta los parámetros definidos por la herramienta de evaluación ASSET, se realizó un levantamiento de requerimientos junto al

especialista para evaluar los diferentes dominios que se puedan entrenar al hacer uso del software de tracking Motive, y el headset HoloLens 2 para realidad aumentada. Para cada uno de estos dominios se realizó un estudio de las variables o métricas que pueden usarse para el correcto seguimiento de la práctica que el usuario desarrollará al hacer uso de la herramienta. La recolección de dichas métricas es posible al usar Unity, este tipo de variables son fácilmente almacenables en una base de datos para luego así poder realizar un análisis con estos.

- **Backend, base de datos y DORA extension:** Durante esta fase fue fundamental la búsqueda de diferentes herramientas que fueran compatibles con las tecnologías ya utilizadas, además de cumplir los requerimientos ya establecidos. Así fue como se llegó a la conclusión de que lo mejor era hacer uso de una base de datos NoSQL y un servidor que comunicara a la aplicación con dicha base de datos debido a la capacidad de manejar archivos CSV con eficiencia y escalado para grandes volúmenes de datos. La flexibilidad de esquema permite cambios sencillos en la estructura de cada documento, una ventaja sobre las bases de datos SQL. Esta flexibilidad facilita la adaptación a las cambiantes necesidades del proyecto sin requerir una reconfiguración exhaustiva. Se presentó un problema de usabilidad que representaba un fallo en un requerimiento funcional, en el cual no era óptimo para el usuario realizar el registro, inicio de sesión y diferentes actividades en la interfaz de las gafas de realidad aumentada, apareciendo, así como solución DORA extension, un aplicativo que se ejecuta en computador en vez de las gafas.
- **Fase de implementación del calificador automático:** En esta fase fue necesario el apoyo de un especialista para que este hiciera uso de la aplicación con el fin de tener una guía de los valores para las métricas recolectadas, a su vez, se realizaron pruebas piloto con diferentes

usuarios estudiantes de medicina de la Facultad de Salud de la Universidad Industrial de Santander. Este tratamiento de datos se realizó en el lenguaje de programación Python, y los datos procesados se guardan en la base de datos para luego cargarlos a la interfaz de la herramienta y que el usuario pueda ver su calificación.

3.3. Requerimientos

Para este proceso se realizaron diferentes reuniones con los estudiantes de diseño, en la cual se tomaba en cuenta lo que el doctor esperaba de la herramienta. De esta manera, y teniendo en cuenta los objetivos del proyecto, se establecieron los siguientes requerimientos.

3.3.1. *Requerimientos Funcionales.*

Estos definen las actividades que el sistema debe llevar a cabo, es decir, las operaciones o tareas específicas que el software debe realizar. Los requerimientos funcionales de esta aplicación se detallan a continuación,

Identificación del requerimiento	RF01
Nombre del requerimiento	Registrar estudiante.
Características	Los estudiantes deben registrarse para acceder a las opciones del software.
Descripción del requerimiento	El sistema permite al estudiante registrarse para poder tener su propia cuenta y guardar sus datos de manera independiente.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 1. *Requerimiento Funcional Número 1.*

Identificación del requerimiento	RF02
Nombre del requerimiento	Iniciar sesión.
Características	Los estudiantes que ya se han registrado, pueden iniciar sesión con sus respectivas cuentas para hacer uso de la herramienta.
Descripción del requerimiento	El sistema permite al estudiante iniciar sesión para poder acceder al sistema y hacer uso de las diferentes opciones de la herramienta.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 2. *Requerimiento Funcional Número 2.*

Identificación del requerimiento	RF03
Nombre del requerimiento	Recuperación de contraseña.
Características	Los estudiantes que ya se han registrado, pueden recuperar su contraseña tras haberla perdido u olvidado.
Descripción del requerimiento	El sistema permite al estudiante realizar la recuperación de contraseña a partir de su pregunta y respuesta de seguridad.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 3. *Requerimiento Funcional Número 3.*

Identificación del requerimiento	RF04
Nombre del requerimiento	Gestionar información y progreso del estudiante.
Características	Guardar y mostrar correctamente la información y el progreso del estudiante.
Descripción del requerimiento	El sistema almacenará en la base de datos la información del estudiante y su progreso, además de desplegarlo correctamente en el menú inicial.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 4. *Requerimiento Funcional Número 4.*

Identificación del requerimiento	RF05
Nombre del requerimiento	Visualización de logros
Características	El estudiante podrá visualizar sus logros basándose en el progreso.
Descripción del requerimiento	El sistema permite que el usuario visualice diferentes medallas como logros en la pestaña de logros.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 5. *Requerimiento Funcional Número 5.*

Identificación del requerimiento	RF06
Nombre del requerimiento	Personalización
Características	El estudiante podrá escoger entre diferentes avatares y fondos dependiendo de su progreso.
Descripción del requerimiento	El sistema permite que el estudiante seleccione entre diferentes avatares y fondos para personalizar su avatar y así incentivar el progreso en la herramienta.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 6. *Requerimiento Funcional Número 6.*

Identificación del requerimiento	RF07
Nombre del requerimiento	Visualizar resultados
Características	El estudiante podrá observar la puntuación obtenida en cada práctica.
Descripción del requerimiento	El sistema permite observar los resultados obtenidos en cada práctica, además de su respectiva valoración en las habilidades artroscópicas basándose en ASSET.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 7. *Requerimiento Funcional Número 7.*

Identificación del requerimiento	RF08
Nombre del requerimiento	Tabla de clasificación
Características	El estudiante podrá observar una tabla donde se ven los competidores mejor clasificados con sus respectivas puntuaciones.
Descripción del requerimiento	El sistema permite mostrar un marcador con la posición, la puntuación y el tiempo que tardó el estudiante clasificado en realizar la práctica.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 8. *Requerimiento Funcional Número 8.*

Identificación del requerimiento	RF09
Nombre del requerimiento	Cambio de tecnología
Características	El estudiante será guiado a través del programa para cambiar el uso de computador a gafas de realidad aumentada y viceversa.
Descripción del requerimiento	El sistema ayuda al estudiante a seguir el flujo funcional del programa para el cambio de tecnología.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 9. *Requerimiento Funcional Número 9.*

Identificación del requerimiento	RF10
Nombre del requerimiento	Elementos gamificados.
Características	Incorporar elementos gamificados en el software.
Descripción del requerimiento	El sistema hará uso de elementos gamificados para enriquecer la experiencia del usuario, haciéndolo más atractivo e intuitivo.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 10. *Requerimiento Funcional Número 10.*

Identificación del requerimiento	RF11
Nombre del requerimiento	Realidad Mixta
Características	Incorporar correctamente el entorno en realidad mixta
Descripción del requerimiento	El sistema hará uso del aplicativo Dora para realidad mixta como parte del proceso que debe realizar el usuario para llevar a cabo la práctica en su totalidad.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 11. *Requerimiento Funcional Número 11.*

3.3.2. *Requerimientos no Funcionales.*

Estos indican las propiedades, rasgos generales y limitaciones del software que está siendo desarrollado. En el caso de esta aplicación, se han identificado los siguientes aspectos:

Identificación del requerimiento	RFN01
Nombre del requerimiento	Interfaz del aplicativo
Características	El sistema presentará una interfaz para el usuario que sea amigable.
Descripción del requerimiento	El sistema deberá tener una interfaz amigable, intuitiva y sencilla.
Prioridad del requerimiento	Alta.

Tabla 12. *Requerimiento no Funcional Número 1.*

3.4. Diseño de la aplicación

En esta etapa se planteó la arquitectura requerida de la aplicación teniendo en cuenta los requerimientos a cumplir y además se hizo un diseño de casos de usos que explican de una manera más detallada la secuencia de acciones que da lugar a la herramienta y proporcionan una estructura para expresar los requisitos funcionales en el contexto de procesos del sistema.

3.4.1. *Diagrama de casos de uso*

El diagrama de casos de uso representa la forma en como uno de los usuarios (Actor) opera con la plataforma, además de la manera y orden en como los elementos interactúan (casos de uso). Los casos de uso son la descripción de cada una de las acciones o actividades que podrán realizarse y se plantean teniendo como referente los requerimientos programados. En este trabajo se maneja un único actor el cual es el estudiante y tiene una relación directa con el aplicativo, como se puede observar en el siguiente diagrama. (ver figura 11).

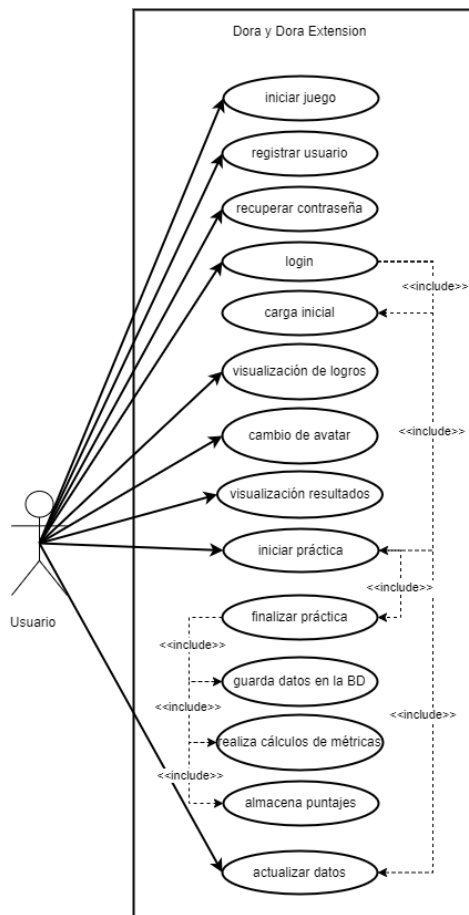


Figura 11. **Diagrama Casos de Uso Aplicativo.** Fuente: Autor del proyecto.

3.5. Selección de Elementos Gamificados

Durante esta etapa, se seleccionan las mecánicas, dinámicas y elementos de la gamificación teniendo en cuenta los objetivos y necesidades que se requieren en la herramienta. Se busca la implementación de componentes más adecuados que, siguiendo la teoría de juegos y la mecánica del juego, impulsen el compromiso del usuario.

3.5.1. Tipo de Gamificación

Para la realización del proyecto, teniendo en cuenta los objetivos establecidos y los requerimientos de la herramienta, se seleccionó la gamificación superficial. Esto significa que se

implementa un enfoque gamificado por un período breve y de forma puntual, ya que su uso apoya una actividad específica. Además, cuenta con puntuaciones y tablas de clasificación como parte de esta estrategia.

3.5.2. Tipo de Jugadores

El tipo de jugador que hará uso de la aplicación es el jugador triunfador, el cual presenta un deseo constante de ganar, completar todas sus tareas o desafíos, y muestra motivación al superar objetivos específicos por satisfacción personal.

3.5.3. Dinámica

- **Significado:** El concepto de significado como parte de la dinámica en la gamificación se refiere a la incorporación de tareas que tienen metas bien definidas y conocidas por el jugador. Esto provoca un mayor deseo de llevar a cabo estas tareas y de observar el progreso hacia esos objetivos mientras se utiliza la herramienta.
- **Progreso:** El progreso como componente de la dinámica en la gamificación refleja la capacidad que tiene la herramienta gamificada para mostrarle al usuario lo que ha aprendido, los niveles que ha superado y su desempeño a lo largo del tiempo, lo cual contribuye al impulso de la motivación interna del jugador.
- **Retroalimentación:** La retroalimentación constante es una respuesta otorgada por la herramienta frente al desempeño general del jugador mediante el despliegue de información de cómo este realiza el procedimiento y su mejora a través del tiempo. Además, facilita la autorreflexión de los jugadores y genera creencias motivacionales para aumentar la autoestima.

3.5.4. *Mecánica*

- **Competición:** La competencia es una motivación en sí misma, se basa en la satisfacción a través de la recompensa y la comparación con otros, en este caso no hay jugadores que pierdan, pero si existe una clasificación de jugadores para incentivar una competencia y mejora en los usuarios.
- **Recompensas:** Son premios que se consiguen cuando se superan los retos propuestos. Es la mecánica que incentiva el progreso y logro de los jugadores, cuenta con diferentes tipos:
 - **Fijos:** El jugador conoce cuál es la recompensa, lo cual mantiene la fidelidad con la aplicación, en este caso se hace mediante un puntaje.
 - **Aleatorios:** El jugador sabe que hay premios, pero no sabe cuáles son, esto aumenta el compromiso con la aplicación, en este caso se hace mediante logros.
 - **Inesperados:** El jugador no sabe que hay premios, esto aumenta la conexión con la aplicación, en este caso se hace mediante avatares.

3.5.5. *Componentes*

- **Puntos:** Valores numéricos que recompensan al jugador, en este caso se otorgan de acuerdo con el desempeño general del jugador en la aplicación.
- **Insignias:** Son reconocimientos otorgados al jugador por lograr ciertos objetivos, en este caso son diferentes insignias que se pueden visualizar en el apartado de logros.

- **Desbloqueo de contenido:** En este caso se desbloquean avatares de acuerdo con el nivel del jugador, el cual va mejorando progresivamente al avanzar en la aplicación.
- **Tablas de clasificación:** Ordenan de manera visual a los jugadores según su desempeño, en este caso se clasifican a los jugadores de acuerdo a los puntos que obtenga y el tiempo que tarde en completar la práctica.
- **Progreso:** Muestra el progreso de los jugadores ayudándolos a concentrarse en los objetivos y elevar los niveles de esfuerzo, además de servir como una rápida retroalimentación visual que genera motivación. En este caso se puede visualizar estadísticamente su progreso y llevar un control de este a través de una barra de progreso y una barra de habilidad.

3.6. Selección de Métricas para ASSET

Teniendo en cuenta que el aplicativo DORA para realidad mixta hace uso de los datos brindados por el software Motive y los datos generados a partir de la gamificación incluida en el proyecto, se pueden extraer diferentes métricas con las cuales se realiza una valoración a diferentes habilidades artroscópicas del estudiante al hacer uso de la herramienta teniendo en cuenta la escala de calificación global ASSET.

En la siguiente tabla se mostrarán las diferentes habilidades artroscópicas que pueden llegar a ser medidas a partir de las variables obtenidas.

Característica	Instrumento	Variable	Observación
Destreza de la cámara	Artroscopio	Tiempo Posición Intentos	Se toma en cuenta: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Distancia objetivo-herramienta. ▪ Desplazamiento total. ▪ Tiempo. ▪ Número de intentos enfocando el target.
Destreza del instrumento	Palpador	Tiempo Posición Intentos	Se toma en cuenta: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Distancia objetivo-herramienta. ▪ Desplazamiento total. ▪ Tiempo. ▪ Número de intentos enfocando el target mientras usa el palpador.
Destreza Bimanual	Artroscopio y palpador	Tiempo Posición Intentos	Se toma en cuenta: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Distancia objetivo-herramienta. ▪ Desplazamiento total ▪ Tiempo. ▪ Número de intentos enfocando el target mientras usa el palpador.
Flujo del procedimiento	Artroscopio y palpador	Tiempo Posición Intentos	Se toma en cuenta: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desplazamiento total. ▪ Tiempo. ▪ Número de intentos enfocando el target.

Calidad del procedimiento	Artroscopio y palpador	Tiempo Intentos	Se toma en cuenta: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiempo. ▪ Número de intentos enfocando el target.
---------------------------	------------------------	-----------------	---

Tabla 13. *Habilidades medibles con las métricas obtenidas basándose en ASSET.*

- **Distancia objetivo-herramienta:** Con el fin de encontrar diferentes formas de evaluar al estudiante, junto a la especialista en el tema, se llegó a la idea de medir la distancia entre dos puntos:

El punto a que correspondería a las posiciones $(x1, y1, z1)$

El punto b que correspondería a las posiciones $(x2, y2, z2)$

Donde el punto a representa el punto en el espacio real de un target virtual, y el punto b representa el punto coordinado del Rigid Body instrumental justo en el momento de una visualización correcta y completa de un target.

Dicha distancia se calcula mediante la ecuación de distancia entre dos puntos en el espacio:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

- **Desplazamiento total:** Teniendo en cuenta que se realiza un seguimiento a los movimientos del usuario mientras que está realizando una práctica, se puede tomar el desplazamiento total como una muestra de qué tanto le tocó explorar para poder visualizar cada uno de los targets.
- **Tiempo:** El tiempo no es una métrica por la cual el usuario se esté preocupando en la herramienta, ya que no existe una presión por acabar la práctica en un tiempo

determinado, aun así, este es un dato muy importante que puede ayudar a medir cada una de las diferentes habilidades artroscópicas.

- **Número de intentos enfocando el target:** Cada que un target es visualizado justo en el centro, inicia un contador visual para el usuario, se cuenta como intento cada vez que dicho contador es activado para un target en específico.

La práctica completa de Dora cuenta con 14 targets u objetivos que deben ser visualizados y algunos palpados para poder ser completados, para cada uno de esos targets se encuentra un valor en cada una de las métricas, para poder visualizar así su desempeño con cada target y además poder distribuir los datos de diferentes targets para diferentes habilidades artroscópicas.

	A	B	C	D	E
1	Archivo	Distancia target-herr	Desplazamiento Tot	Tiempo	Intentos
2	Target1Artro.csv	0.2449489743	1.2	00 : 15	7
3	Target2Artro.csv	0.2449489743	3.5	00 : 33	8
4	Target3Artro.csv	0.2236067977	2.7	00 : 55	29
5	Target4Artro.csv	0.2449489743	16.5	02 : 35	35
6	Target5Artro.csv	0.2449489743	3.8	03 : 05	27
7	Lv2Target1Artro.csv	0.1	3.3	00 : 35	24
8	Lv2Target2Artro.csv	0.1732050808	3	00 : 50	11
9	Lv2Target3Artro.csv	0.1732050808	0	00 : 57	3
10	Lv2Target4Artro.csv	0.1	1	01 : 02	2
11	Lv2Target5Artro.csv	0.2449489743	5.1	01 : 32	25
12	Lv2Target6Artro.csv	0.2449489743	0.4	01 : 38	6
13	Lv2Target7Artro.csv	0.1732050808	1.2	01 : 43	9
14	Lv2Target8Artro.csv	0.2	3.4	02 : 02	19
15	Lv2Target9Artro.csv	0.1	0.2	02 : 08	5
16	Target4Palpa.csv	0.4472135955	24.9		
17	Target5Palpa.csv	0.4123105626	1.8		

Figura 12. Métricas recolectadas de una práctica de Dora. Fuente: Autor del proyecto.

4. Resultados

4.1. Arquitectura del sistema

Para la realización del proyecto fue necesario entender el funcionamiento de cada una de las tecnologías y el uso de diferentes herramientas para poder generar la conexión entre las mismas como se muestra en la siguiente figura:

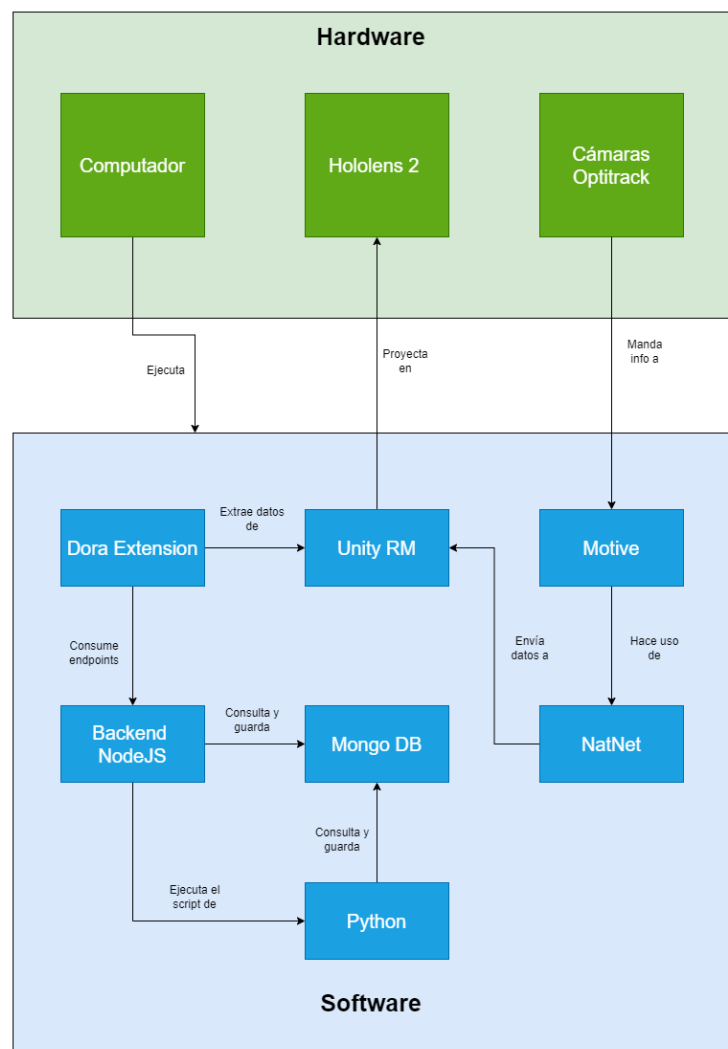


Figura 13. **Arquitectura del Proyecto.** Fuente: Autor del proyecto.

4.1.1. Cámaras OptiTrack

Optitrack es un sistema elaborado por NaturalPoint que permite la captura de movimientos de un objeto mediante el uso de marcadores reflectantes. El sistema se compone de un conjunto de cámaras de infrarrojos que, al detectar los marcadores rastread con precisión la forma, dimensión y posición en el espacio de un objeto real con el propósito de transferir el movimiento del objeto a un modelo virtual y, de esta manera, posibilitar una interacción en un entorno virtual.



Figura 14. **Cámaras OptiTrack.** Fuente: Autor del proyecto.

En el laboratorio se encuentran dos cámaras OptiTrack Prime 13 que capturan hasta 240 cuadros por segundo y tienen una latencia de 4.2 ms. [24] Las cámaras se ubican sobre dos trípodes separados entre sí 40 cm, a su vez, se encuentran en un rango de 120 a 150 cm del centro de la mesa que funciona como el origen de coordenadas de las cámaras en el programa que estas utilizan, llamado Motive. Se deben montar en un ángulo que permita la detección de los marcadores que se encuentren delante de ellas sin importar su orientación, el montaje final se muestra en la siguiente figura:

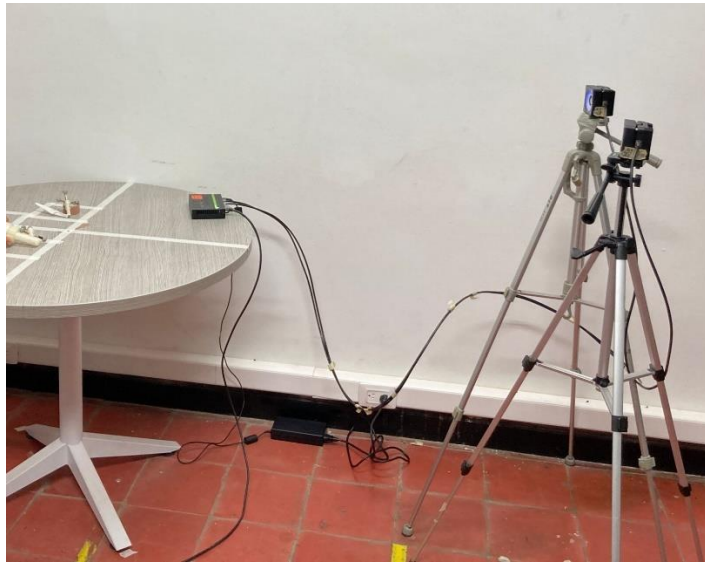


Figura 15. **Montaje de las Cámaras Optitrack.** Fuente: Autor del proyecto.

4.1.2. Motive

Motive es el software desarrollado por NaturalPoint que se encarga de gestionar los sistemas de captura de movimiento. Aparte de realizar la calibración y ajuste de estos sistemas, ofrece utilidades para adquirir, procesar, guardar y transmitir información tridimensional de manera efectiva.

Motive obtiene la información tridimensional de la posición de los marcadores por medio de la reconstrucción que lo hace a partir de coordenadas bidimensionales obtenidas de imágenes. Este proceso implica trazar la trayectoria de los marcadores 3D detectados dentro del volumen de captura calibrado y realizar el proceso de captura para el rastreo de los elementos definidos como Rigid Bodies y esqueletos.

Para el funcionamiento de la aplicación de Motive es necesario tener la contraseña que se trata de un pendrive el cual permite el acceso al programa y a todas sus funcionalidades, cabe resaltar que para diferentes versiones del programa existen diferentes contraseñas.



Figura 16. **Contraseña de Motive.** Fuente: Autor del proyecto.

Al tener acceso al programa, hay que realizar una calibración de la zona en la cual se espera que los marcadores reflectantes se encuentren en movimiento y así poderlos rastrear, dicha zona es conocida como el volumen de captura. Para realizar esta se debe usar la vara de calibración que permite realizar un trazo de los marcadores en el espacio, cabe resaltar que, al momento de la marcación del volumen, Motive muestra un número de puntos rastreados el cual debe encontrarse entre 10.000 y 12.000 de los mismos para que los resultados de la calibración sean excelentes.



Figura 17. **Vara de Calibración.** Fuente: Autor del proyecto.

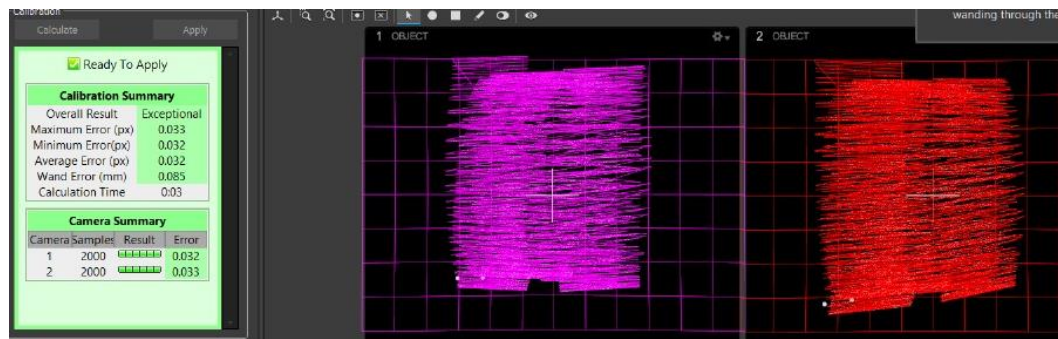


Figura 18. **Volumen de Captura en Motive.** Fuente: Autor del proyecto.

Después de realizar la calibración se debe usar la escuadra de calibración la cual define el origen de coordenadas teniendo en cuenta los diferentes ejes, para la practicidad del montaje se decidió realizar una marcación en la mesa de trabajo, estableciendo el centro de esta como el origen del eje coordenado para Motive.



Figura 19. **Escuadra de Calibración.** Fuente: Autor del proyecto.

Para el proyecto se hizo uso de dos Rigid Bodies, los cuales cuentan con 7 targets en su totalidad, mientras que las cámaras estén realizando el seguimiento de los marcadores, estos se

muestran en la pantalla superior de motive como “reconocidos”, lo cual permite el seguimiento total de los Rigid Bodies.

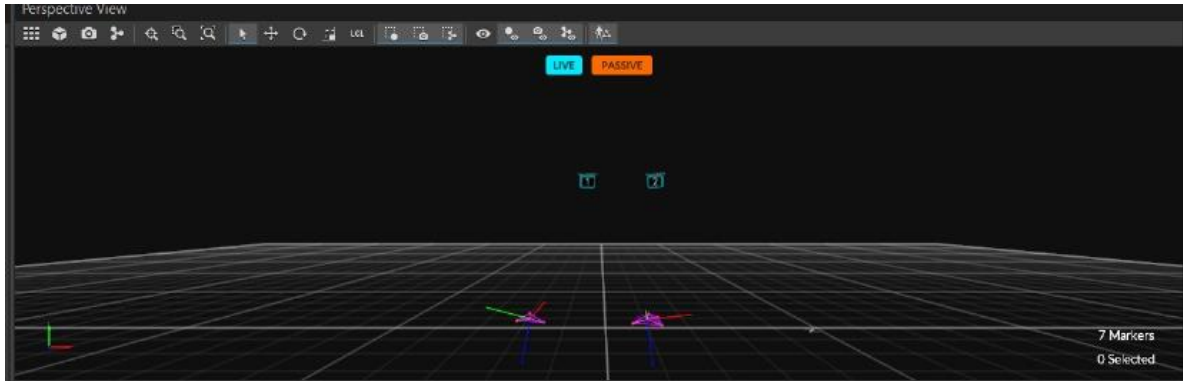


Figura 20. **Motive en Funcionamiento.** Fuente: Autor del proyecto

4.1.3. Marcadores y Rigid Bodies

Los marcadores son unas pequeñas esferas que reflejan la luz infrarroja emitida por las cámaras, permitiendo así un rastreo más preciso de su posición real y a su vez una interpretación virtual de la misma, basándose en el hecho de que cualquier cambio en el entorno real afectará directamente al entorno virtual. Como una recomendación extra se debe tratar de cubrir superficies de metal o que puedan reflejar a su vez la luz infrarroja, para así evitar el ruido en el respectivo rastreo que las cámaras realizan.

Los Rigid Bodies son un conjunto de marcadores que mantienen fija su posición uno respecto al otro, teniendo esto en cuenta el software de tracking puede identificarlos y diferenciarlos, lo cual permite un mejor procesamiento de estos y una caracterización de cada uno. Además, los Rigid Bodies son procesados como un objeto en conjunto, lo que significa que el software toma los datos de posición y rotación del objeto basándose en el centro de la figura generada a partir de los marcadores que lo forman.



Figura 21. **Rigid Bodies de un Artroscopio y un Palpador.** Fuente: Autor del proyecto.

4.1.4. NatNet

NatNet SDK es una herramienta para recibir datos de NaturalPoint a través de redes, permitiendo la transmisión de datos de captura de movimiento en aplicaciones de cliente desde un servidor de seguimiento. Utiliza el protocolo UDP junto con un sistema punto a punto Unicast o IP Multicast para la comunicación.

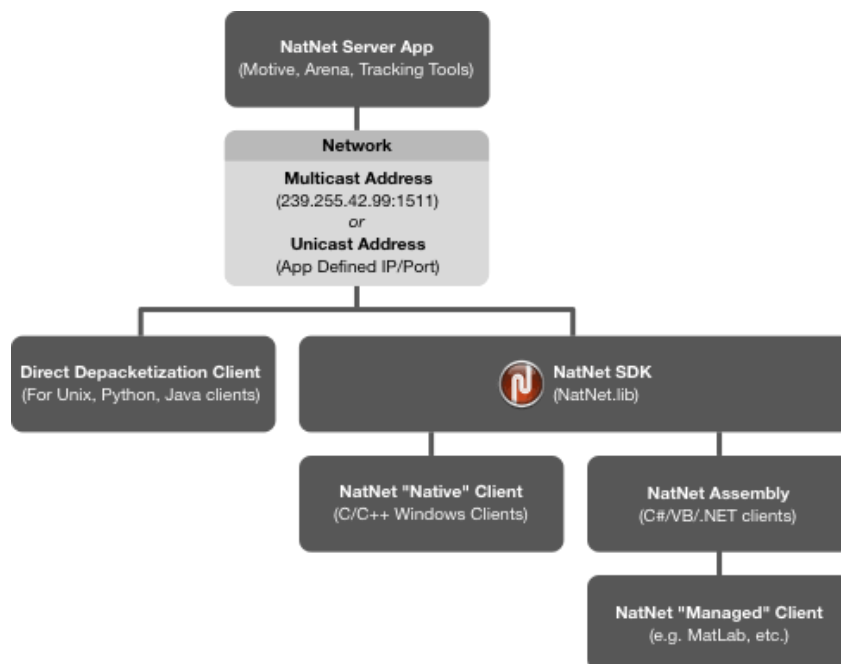


Figura 22. **Componentes de NatNet.** Fuente: [15]

La arquitectura cliente/servidor de NatNet permite que las aplicaciones de cliente se ejecuten en el mismo sistema que el software de seguimiento (Motive), en sistemas separados o en ambos. Al utilizar el SDK de NatNet en conjunto con el plugin para Unity, se puede incorporar rápidamente los datos de seguimiento de movimiento de Motive en el entorno de Unity en tiempo real incluyendo la identificación de los diferentes Rigid Bodies y el tipo de sistema de comunicación deseado.

4.1.5. Unity – Realidad Mixta

El entorno de desarrollo seleccionado para la realización del proyecto fue Unity, que se escogió por diversos factores:

- **Conocimientos previos:** Se contaba con conocimientos previos sobre la herramienta, su funcionamiento y diversas extensiones, además de contar con gran documentación en internet puesto que es una plataforma bastante utilizada para el desarrollo de aplicativos en realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta.
- **Economía:** Unity, en comparación con otros entornos de desarrollo reconocidos en el mercado se destaca como uno de los pocos que proporciona una alta calidad en su versión gratuita, a diferencia de los demás que carecen de esta opción gratuita para estudiantes o pruebas.
- **Primeras versiones:** Las primeras versiones del software se desarrollaron en la versión de Unity 5.6.1f1 (2017) ya que esta era última versión compatible con las gafas de realidad aumentada que se iban a usar en un principio (Las Meta 2 de la liquidada empresa Meta, presentando así un problema ya que su documentación era mínima y se dificultaba el correcto avance de la aplicación con estas).

Al realizar el cambio de gafas de realidad aumentada a las HoloLens 2 de Microsoft, se pudo realizar una actualización en la versión de Unity a la 2020.3.15f2 la cual cuenta con una mejor integración para los plugins y assets que usan la tecnología de la realidad mixta.

Este proyecto de Unity en Realidad Mixta de la aplicación determinada como DORA hace uso del Kit de herramientas de realidad mixta (MRTK por sus siglas en inglés), desarrollado por Microsoft para ayudar en el desarrollo de aplicaciones de realidad mixta en Unity, ofreciendo componentes y funciones para interacciones espaciales, de la interfaz de usuario y a su vez ayudando en la configuración específica que debe tener el proyecto de Unity para ejecutarse correctamente y poder visualizarse en las gafas de realidad aumentada.

Además del desarrollo de algunas interacciones entre los objetos reales y los virtuales, se tuvo que desarrollar la interacción que era necesaria entre los Rigid Bodies del artroscopio y palpador con los targets netamente virtuales, todo lo anterior realizado en el lenguaje de programación C# ya que es el lenguaje soportado nativamente por Unity.

Al finalizar la práctica de artroscopia, el programa guarda las métricas recolectadas durante el uso de la herramienta en diferentes archivos CSV que se almacenan de manera local.

4.1.5.1. Diseño y Funcionalidad de Dora

En los siguientes apartados, se mostrarán algunas vistas del proyecto de realidad mixta, junto con una breve descripción de cómo funcionan teniendo en cuenta los requerimientos.

- **Pantalla de inicio:** La primera vista que tiene el usuario al abrir la aplicación, donde le permite habituarse al entorno de realidad **mixta**, además de interactuar con las primeras interfaces que a su vez sirven como introducción y guía al uso de la herramienta.

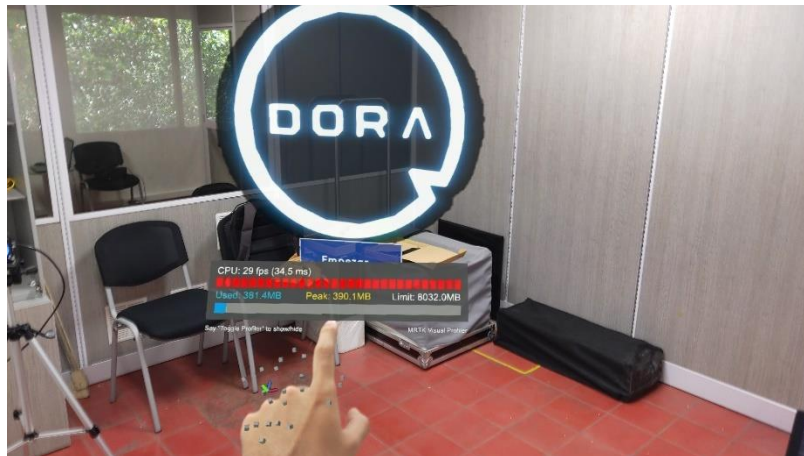


Figura 23. **Interacción Pantalla Inicial Dora.** Fuente: Autor del proyecto.

- **Torre de artroscopia:** La torre de artroscopia es la herramienta virtual que ayudará al usuario a completar las tareas propuestas. La pantalla 1 ubicada en la izquierda, muestra el número de objetivos por cumplir y cumplidos además de una pequeña ayuda, la pantalla 2 ubicada en el medio, muestra lo que visualiza la cámara del modelo del artroscopio y la pantalla 3 ubicada en la derecha, muestra el siguiente objetivo o target que el usuario debe visualizar.

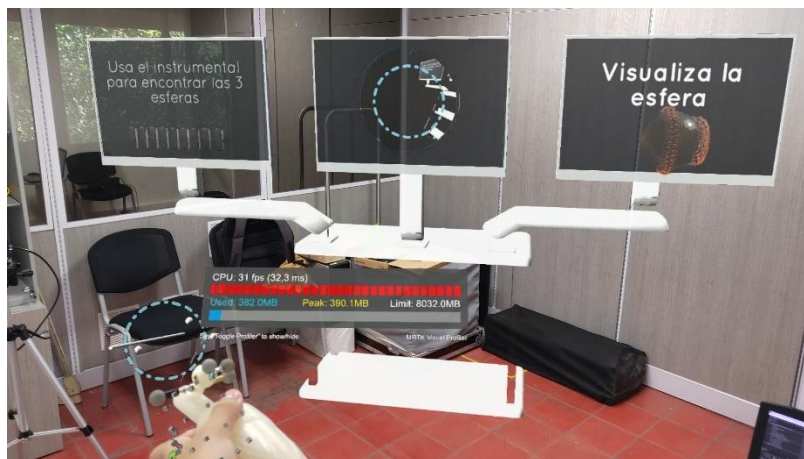


Figura 24. **Torre de Artroscopia de Dora.** Fuente: Autor del proyecto.

- **Durante la práctica:** El usuario debe lograr visualizar los targets perfectamente al completar un contador que se encuentra de manera visual alrededor del objetivo, al completarlo, el target desaparece y la aplicación le indica su siguiente objetivo al usuario.

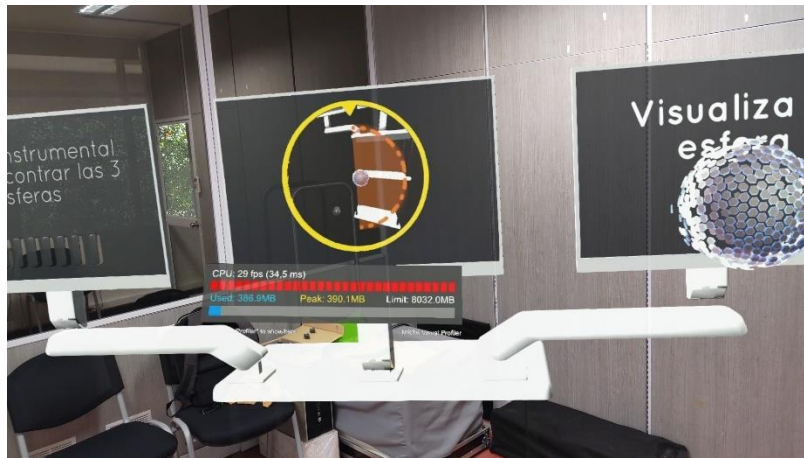


Figura 25. **Dora en uso.** Fuente: Autor del proyecto.

El aplicativo de Dora para realidad mixta donde su foco central es el entrenamiento de habilidades artroscópicas cuenta con una interfaz que incorpora elementos fundamentales de gamificación donde hace uso de complementos como los mensajes motivacionales y de dinámicas como la retroalimentación que ayudan a la motivación y el aprendizaje del usuario, además de que el aplicativo de Dora Extension hace uso de las demás dinámicas, mecánicas y complementos anteriormente explicadas para soportar el contenido significativo de gamificación, de esta manera es posible confirmar el cumplimiento del primer objetivo específico.

Mediante los datos recolectados durante la práctica como los valores de movimiento de los Rigid Bodies capturados por las cámaras, el tiempo que tarda el usuario al ejecutar la práctica y el número de intentos al visualizar cada target se puede realizar un análisis en el cual se evalúa al estudiante bajo la escala de calificación ASSET, cumpliendo así, el segundo objetivo específico.

4.1.6. HoloLens 2

Las HoloLens 2 de Microsoft son gafas de realidad aumentada de segunda generación diseñadas para combinar elementos virtuales con el mundo real. Lanzadas en 2019 por Microsoft, este dispositivo holográfico dirigido principalmente a la industria y la capacitación de personal tiene un valor de 4.200 dólares y destaca por un campo de visión más amplio y una mayor comodidad, lo que permite una experiencia inmersiva mejorada. El dispositivo comprende un visor, una diadema y botones para controlar aspectos como brillo, volumen y encendido. Su ángulo de visión abarca 43 grados en horizontal y 23 en vertical. [21]



Figura 26. **Gafas HoloLens 2.** Fuente: Autor del proyecto.

4.1.7. Dora Extension

Con Dora existe un problema de usabilidad basado en lo tedioso que puede ser para un usuario tener que realizar registro, inicio de sesión y demás en la interfaz de las gafas HoloLens 2 para poder visualizar sus resultados o progreso, ya que gastaría mucho tiempo llenando cada uno de los campos con la interfaz de las gafas.

Dadas las limitaciones anteriormente mencionadas, Dora extension que se realiza durante esta versión del proyecto, se presenta como una solución para este problema de usabilidad al ser un aplicativo de escritorio y no una interfaz en las gafas HoloLens 2.

El aplicativo se conecta a través del servidor de NodeJS con la base de datos de Mongo y a su vez integra de manera visual diferentes complementos de la gamificación que enriquecen la experiencia del usuario e incrementan la motivación de este al usar la herramienta.

Dora extension está adaptado para guiar al usuario a través del proceso, avisándole cuando debe utilizar las gafas de realidad aumentada y, a su vez, Dora avisa al usuario cuando debe dejar de usar las gafas y volver al computador.

4.1.7.1. Diseño y Funcionalidad de Dora Extension

En los siguientes apartados, se mostrarán las distintas interfaces gráficas del proyecto, junto con una breve descripción de cómo funcionan teniendo en cuenta los requerimientos planteados.

- **Pantalla de inicio:** La primera vista que tiene el usuario al abrir la aplicación, donde le permite registrarse, iniciar sesión o cerrar la aplicación.

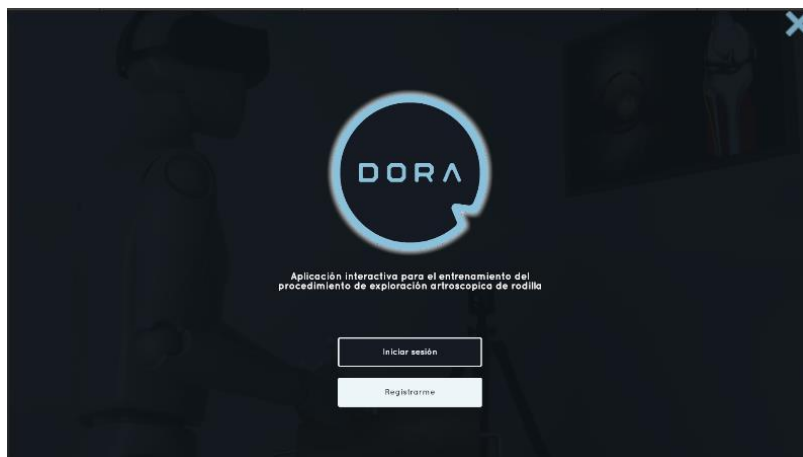


Figura 27. **Interfaz Inicio Dora Extension.** Fuente: Autor del proyecto.

- **Inicio de sesión:** Si el usuario ya tiene una cuenta irá a esta vista, donde le permite iniciar sesión, registrarse en caso de que no tenga cuenta, recuperar su contraseña si se le ha olvidado y salir de la aplicación.

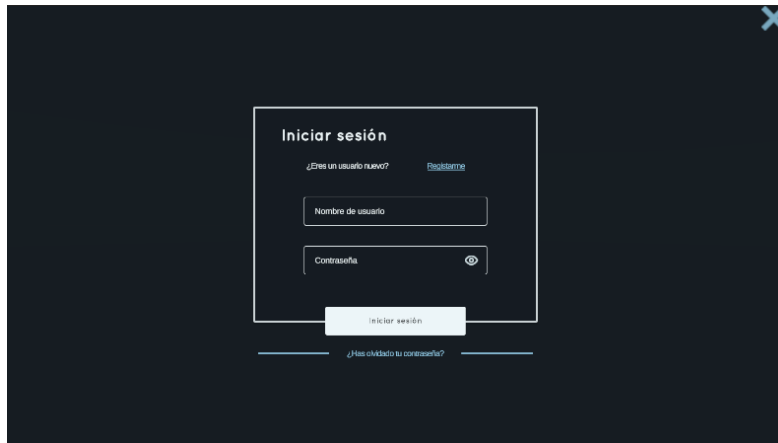


Figura 28. **Interfaz Inicio de Sesión Dora Extension.** Fuente: Autor del proyecto.

- **Registro:** Para que el usuario se registre debe llenar los campos que se muestran en la siguiente figura, campos que servirán para la identificación y seguridad de su cuenta a partir de una pregunta de seguridad. En esta interfaz el usuario podrá registrarse, ir a iniciar sesión en caso de tener una cuenta y salir de la aplicación.

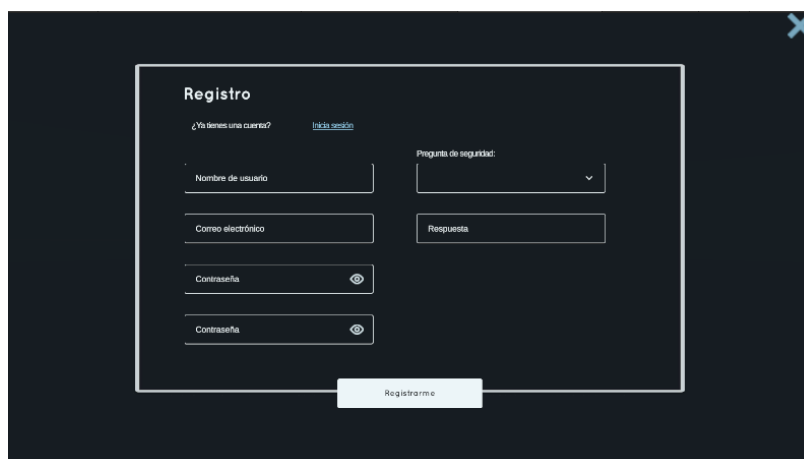


Figura 29. **Interfaz de Registro Dora Extension.** Fuente: Autor del proyecto.

- **Recuperación de cuenta:** Para que el usuario pueda recuperar su cuenta debe llenar los campos de seguridad correctamente lo cual le habilitará la edición de contraseña. En esta interfaz el usuario podrá recuperar su cuenta, ir a iniciar sesión en caso de tener una cuenta y salir de la aplicación.



Figura 30. **Recuperación Contraseña Dora Extension.** Fuente: Autor del proyecto.

- **Primera vista nueva cuenta:** Al iniciar la aplicación por primera vez, el usuario tendrá la posibilidad de seleccionar un avatar y un fondo como complementos de la gamificación.



Figura 31. **Primera Vista Nueva Cuenta Dora Extension.** Fuente: Autor del proyecto.

- **Menú inicial nueva cuenta:** En el menú inicial el usuario encontrará una breve descripción del aplicativo además de poder navegar por los diferentes apartados, como logros, perfil, progreso, notificaciones, cerrar su cuenta o iniciar una práctica. Además de poder visualizar el progreso, la habilidad y la puntuación.



Figura 32. Menú Inicial Nueva Cuenta Dora Extension. Fuente: Autor del proyecto.

- **Menú inicial cuenta antigua:** En el menú inicial el usuario encontrará la tabla de clasificaciones además de poder navegar por los diferentes apartados, como logros, perfil, progreso, notificaciones, cerrar su cuenta o iniciar una práctica.



Figura 33. Menú Inicial Cuenta Antigua. Fuente: Autor del proyecto.

- **Interfaz de logros:** En el menú de logros se pueden ver las insignias obtenidas a partir del progreso en la herramienta como complemento de la gamificación.



Figura 34. **Interfaz de Logros Dora Extension.** Fuente: Autor del proyecto.

- **Interfaz de perfil:** En el menú de perfil el usuario puede elegir entre diferentes avatares que se van desbloqueando al avanzar en la aplicación, funciona como complemento de la gamificación al generar motivación.

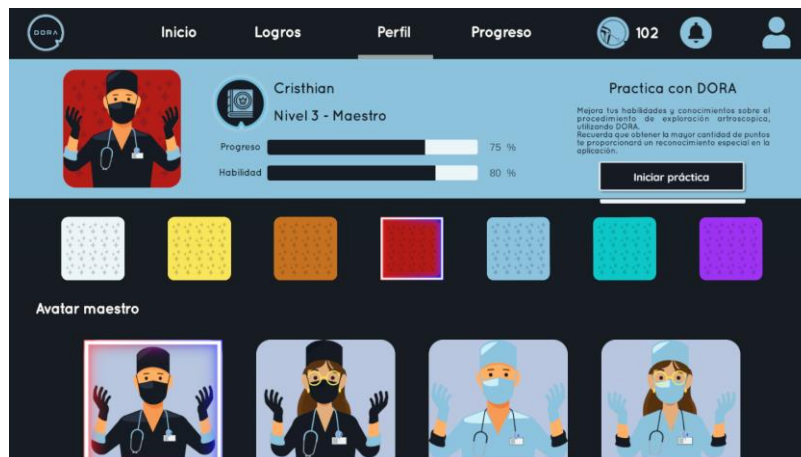


Figura 35. **Interfaz de Perfil Dora Extension.** Fuente: Autor del proyecto.

- **Interfaz de progreso:** En el menú de progreso el usuario podrá visualizar sus mejores prácticas además de un informe detallado de cada práctica basado en la herramienta ASSET.

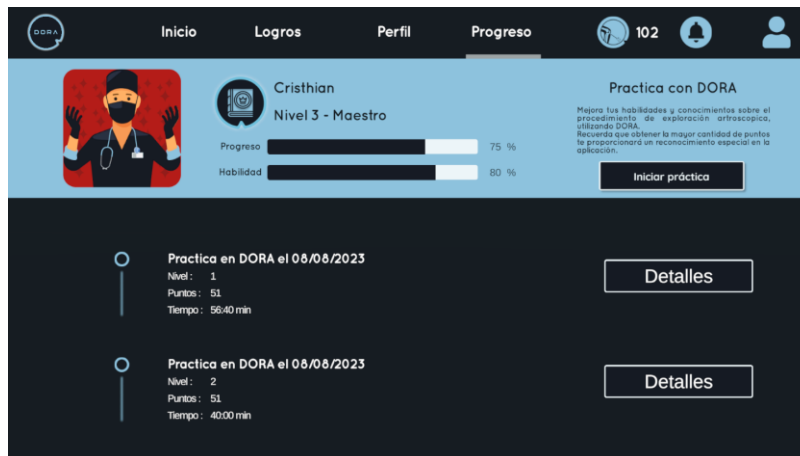


Figura 36. **Interfaz de Progreso Dora Extension.** Fuente: Autor del proyecto.

- **Informe basado en ASSET:** Al presionar en Detalles de una práctica, saldrá el menú donde se podrá visualizar el desempeño basado en la herramienta de evaluación de habilidades artroscópicas ASSET.

Reporte de resultados	
Tu desempeño en cada habilidad artroscópica es el siguiente:	
Destreza de la cámara	4
Destreza del instrumento	2
Destreza Bimanual	3
Flujo del procedimiento	3
Calidad del procedimiento	3
Total	15

Figura 37. **Informe Basado en ASSET Dora Extension.** Fuente: Autor del proyecto.

Dora Extension toma las métricas guardadas durante la práctica al hacer uso de Dora, y las envía al servidor para realizar el posterior análisis de los datos recolectados.

4.1.8. Backend NodeJS

Para el servidor local se hizo uso del entorno NodeJS en conjunto con Mongoose que es una librería soportada por JavaScript para poder hacer consultas en una base de datos de Mongo de una forma más rápida y eficiente.

En el Backend se hizo uso del patrón de diseño de software de Data Transfer Object (DTO), donde se busca transferir datos entre diferentes componentes de un sistema de manera eficiente. El propósito del patrón DTO es desarrollar un objeto sencillo con varios atributos que puedan ser transmitidos u obtenidos del servidor con una sola acción. Esto permite que un DTO contenga detalles de diversas fuentes o tablas, reuniéndolos en una única clase básica, lo cual ayuda a que la información viaje más rápido y de manera organizada, especialmente cuando hay muchas partes en el programa que necesitan comunicarse entre sí. [22]

La forma de comunicación entre el servidor y la aplicación de Dora Extension es a través de archivos JSON.

Tener un servidor intermedio entre Unity y la base de datos al usar solicitudes API REST brinda beneficios cruciales para la seguridad, escalabilidad y eficiencia de la aplicación. Este servidor actúa como un escudo, garantizando la protección de la base de datos mediante medidas de seguridad y autenticación, mientras facilita el manejo de múltiples solicitudes simultáneas y la escalabilidad. Además, permite la optimización de datos y procesamiento antes de que Unity los reciba, centraliza el mantenimiento y posibilita cambios en la infraestructura sin afectar directamente a la aplicación de Unity.

```
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:54 p. m. LOG [RouterExplorer] Mapped {/user/CheckRecover, POST} route +3ms
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:54 p. m. LOG [RouterExplorer] Mapped {/user/delete, DELETE} route +4ms
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:54 p. m. LOG [RouterExplorer] Mapped {/user/updateData, POST} route +3ms
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:54 p. m. LOG [RoutesResolver] GameController {/game}: +5ms
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:54 p. m. LOG [RouterExplorer] Mapped {/game/create, POST} route +9ms
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:54 p. m. LOG [RouterExplorer] Mapped {/game/progress, POST} route +7ms
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:54 p. m. LOG [RouterExplorer] Mapped {/game/tier, GET} route +9ms
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:55 p. m. LOG [RouterExplorer] Mapped {/game/updateData, POST} route +6ms
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:55 p. m. LOG [RoutesResolver] DataController {/data}: +3ms
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:55 p. m. LOG [RouterExplorer] Mapped {/data/create, POST} route +7ms
[Nest] 20404 - 22/08/2023, 4:27:55 p. m. LOG [NestApplication] Nest application successfully started +14ms
```

Figura 38. **Activación del Servidor Funcional.** Fuente: Autor del proyecto.

4.1.9. Base de Datos de Mongo

Se implementó la Base de Datos NoSQL, permitiendo almacenar una cantidad de datos masivos como podrían ser los archivos CSV llenos de las métricas recolectadas de posición y rotación de los marcadores durante el desarrollo de la práctica. Además de permitir guardar los datos JSON directamente enviados desde Unity a través del servidor de NodeJS.

4.1.10. Script Python

NodeJS permite realizar la ejecución de archivos de Python mediante un módulo llamado *child_process* con el cual se puede realizar el tratamiento y análisis de datos de los usuarios para después tenerlos almacenados en la base de datos y poder así visualizar su progreso.

El Script lee todos los datos primarios como posiciones, tiempos e intentos que se almacenaron en la base de datos luego del uso del aplicativo.

Después de esto se realiza el proceso que se explica en la *sección 4.3 Análisis de Métricas y Resultados.*

4.2. Ventajas y Limitaciones

El proyecto en general cuenta con diferentes componentes que presentan una ventaja respecto a los métodos tradicionales mediante los cuales los estudiantes de la especialidad de ortopedia realizan el aprendizaje de la exploración artroscópica de rodilla.

El uso individual de la herramienta el número de veces deseadas por el usuario para habituarse al entorno, a la visualización de la cámara de artroscopio proyectada en una pantalla y la habilidad de triangulación, además de poder tener una valoración menos subjetiva de sus habilidades basadas la herramienta de evaluación ASSET, poder visualizar su progreso y sentirse motivado a través de la gamificación implementada.

En un estudio llevado a cabo en la Clínica Mayo de Minnesota, se observa que, con el tiempo, los costos de mantenimiento de los simuladores de realidad virtual o mixta son inferiores a los requeridos para sostener los laboratorios con cadáveres.[23]

Siendo un simulador básico que hace uso de diferentes herramientas que tienen un costo aproximado de 47 millones de pesos colombianos, presenta una diferencia notoria respecto al precio de simuladores profesionales como el VirtaMed ArthroS™ que cuesta aproximadamente 10 veces más.

Las limitaciones que tiene la herramienta se basan en gráficos un poco lejanos a la realidad, además de pasos de la cirugía que no pueden ser realizados de una manera más realista por falta de un modelo de rodilla que pueda ser perforado para poder realizar el ingreso de la cánula, por ejemplo.

La configuración que debe tener el dispositivo que ejecuta todos los programas para poder incorporar las diferentes herramientas y que estas se integren de una manera correcta es un poco

tediosa por primera vez y puede generar conflictos con algunos puertos si el dispositivo ha sido utilizado para otro tipo de conexiones parecidas en el pasado.

Al ser un proyecto que hace uso de tecnologías tan específicas es poco probable que sea replicable en diferentes escenarios fuera al laboratorio de la escuela de Diseño Industrial de la UIS, ya que se deben tener las cámaras, las gafas y los Rigid Bodies en físico para poder realizar de manera exitosa una práctica, además de tener un auxiliar que sepa realizar la calibración de motive y conectar correctamente las gafas HoloLens 2 con el proyecto de Unity en realidad mixta.

4.3. Análisis de Métricas y Resultados

Para el análisis del desempeño basándose en las diferentes habilidades artroscópicas que se pueden evaluar haciendo uso de las métricas recogidas se tuvo que realizar un previo tratamiento de los datos primarios para dejarlos en términos como en la *tabla 13*.

Luego, los datos se procesan para volverlos las métricas de calificación como se explicó anteriormente en la *sección 3.5*, para así finalmente comparar los datos entre todos usuarios se realizan percentiles del 20% para saber el desempeño de cada una de las métricas target a target. Se debe tener en cuenta que para cada una de las métricas entre más cercana a 0 sea, mejor calificación tendrá, siendo así la puntuación mínima 1 punto y la máxima 5 puntos como se demuestra en la siguiente figura:

	A	B	C	D	E	F
1	Archivo	practica	dis2target	length_path	time	trials
2	Doctora1_intento_1.	Target1Arthro.csv	5	3	3	3
3	Estudiante5_intento.	Target1Arthro.csv	5	3	5	2
4	Estudiante1_intento.	Target1Arthro.csv	5	4	5	5
5	Estudiante7_intento.	Target1Arthro.csv	5	4	5	5
6	Estudiante8_intento.	Target1Arthro.csv	5	2	3	5
7	Estudiante3_intento.	Target1Arthro.csv	3	5	2	5
8	Estudiante4_intento.	Target1Arthro.csv	3	5	5	5
9	Estudiante6_intento.	Target1Arthro.csv	1	1	1	1
10	Estudiante2_intento.	Target1Arthro.csv	5	1	1	1
11	Estudiante7_intento.	Target1Arthro.csv	1	3	3	4
12	Estudiante5_intento.	Target1Arthro.csv	2	5	4	3
13	Estudiante8_intento.	Target1Arthro.csv	5	1	1	2
14	Estudiante4_intento.	Target1Arthro.csv	2	4	4	4
15	Estudiante5_intento.	Target1Arthro.csv	1	2	3	3
16	Estudiante4_intento.	Target1Arthro.csv	5	2	2	1
17	Estudiante4_intento.	Target1Arthro.csv	2	5	5	3

Figura 39. Puntuación basada en percentiles del 20% para cada métrica, target a target.

Fuente: Autor del proyecto.

Para el cálculo de cada habilidad se promedia el puntaje en cada métrica teniendo en cuenta los targets que requieren dicha habilidad como se explicará a continuación:

La destreza de la cámara tiene en cuenta todos los targets que tenían que ser visualizados con el artroscopio (14 para la práctica completa) y se consideran las 4 métricas, distancia target-herramienta, desplazamiento total, tiempo y número de intentos.

La destreza del instrumento tiene en cuenta los targets que tenían que ser palpados (2 para la práctica completa) y considera las 4 métricas.

La destreza Bimanual se realiza como un conjunto de las habilidades individuales de cada instrumento, teniendo en cuenta todos los targets y considerando las 4 métricas para los dos instrumentos.

El flujo del procedimiento se realiza con las métricas de ambos instrumentos teniendo en cuenta todos los targets, pero solo considera 3 métricas para cada uno, desplazamiento total, tiempo e intentos.

La calidad del procedimiento tiene en cuenta todos los targets, pero solo considera 2 métricas, el tiempo y los intentos, para ambos instrumentos.

Luego de que se sacan los percentiles y se agrupan los datos para cada una de las habilidades, se llega a la calificación final de Dora basada en ASSET donde:

Destreza de la Cámara	3
Destreza del Instrumento	2
Destreza Bimanual	2
Flujo del Procedimiento	2
Calidad del procedimiento	2
Total	11

Figura 40. **Habilidades Artroscópicas Medidas por Dora.** Fuente: Autor del proyecto.

Cada una de las habilidades artroscópicas puede tener un puntaje con un valor entre 1 y 5, dando así una puntuación mínima de 5 y máxima de 25 puntos.

Las pruebas se hicieron en la Facultad de Salud de la UIS con 8 estudiantes de medicina de diferentes semestres, además de una práctica con la Doctora Laura Valencia directora del laboratorio de simulación.

Para clasificar a los estudiantes, es crucial considerar los resultados obtenidos por los especialistas al utilizar la aplicación, ya que estos resultados son la única forma de validar que los

datos recopilados durante la práctica de los estudiantes coinciden con los datos recopilados por los especialistas. En otras palabras, esto asegura que los estudiantes poseen habilidades artroscópicas semejantes a las de los especialistas. Teniendo en cuenta lo anterior, al comparar las habilidades del estudiante con el especialista, se automatiza el rol del médico docente que bajo su subjetividad asigna una calificación en cada una de las habilidades artroscópicas propuestas en la herramienta ASSET.

Aunque varios datos de la prueba de la Doctora se encuentran en la media de los datos tomados en 16 pruebas, no todos sus datos podrían ser tomados como datos ideales ya que el análisis no tendría muchos referentes para realizar un aprendizaje básico donde se compare al estudiante con diferentes especialistas.

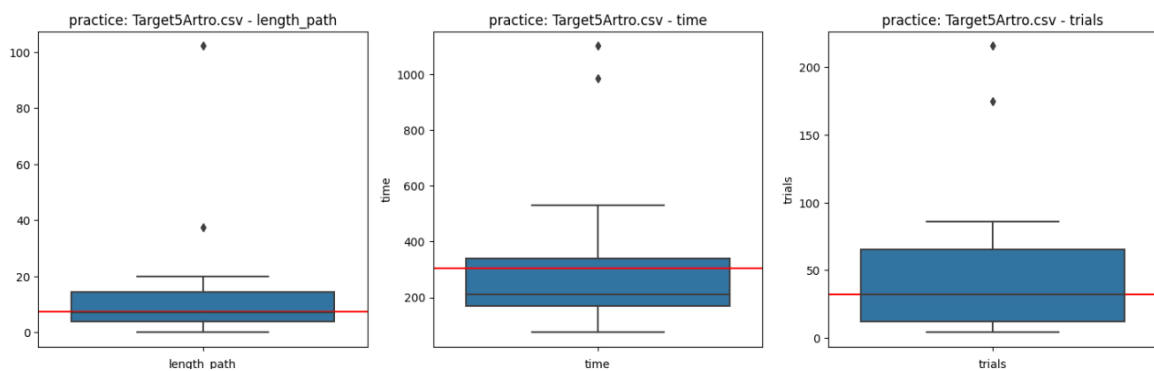


Figura 41. **Desempeño de los Usuarios en el Target5.** Fuente: Autor del proyecto.

Después de todo, el resultado de la práctica con la Doctora fue de 3 en cada una de las habilidades, basando su desempeño como “competente” y que a partir de ese nivel en estas habilidades específicas es un punto aceptable para realizar el procedimiento de manera real.

<i>Doctora1_intento_1.csv</i>	
Destreza de la Cámara	3
Destreza del Instrumento	3
Destreza Bimanual	3
Flujo del Procedimiento	3
Calidad del procedimiento	3
Total	15

Figura 42. **Desempeño Final Doctora.** Fuente: Autor del proyecto.

Lo anterior demuestra cómo el aplicativo puede brindar una calificación un poco más objetiva de las habilidades artroscópicas que se buscan entrenar en el proyecto, cumpliendo así el tercer objetivo específico.

Los estudiantes que llevaron a cabo múltiples prácticas demuestran que a medida que utilizan la herramienta, existe una mejoría en su puntuación y, en consecuencia, una mejora en sus habilidades artroscópicas y destrezas espaciales.

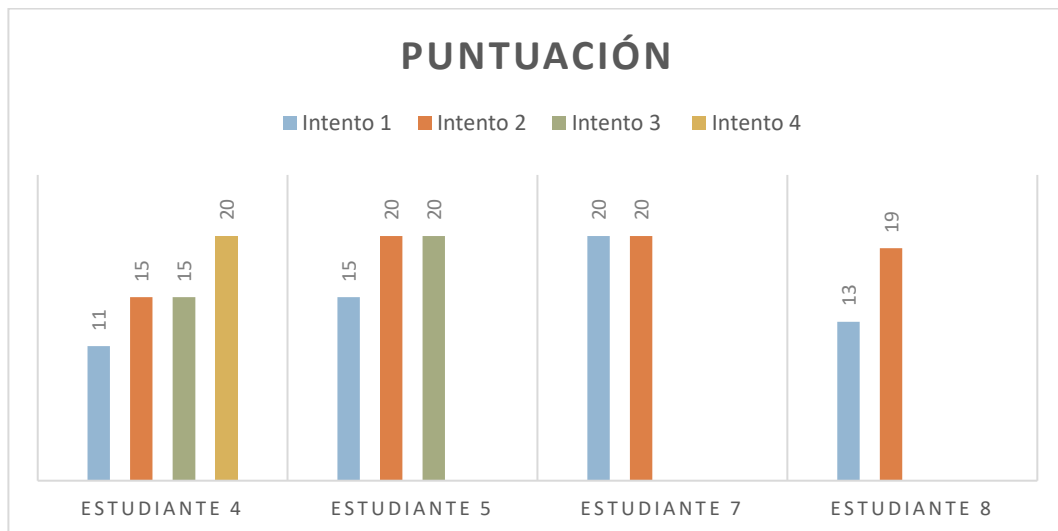


Figura 43. **Gráfico de puntuación por intentos agrupados por estudiante.** Fuente: Autor del proyecto.

Al momento de la prueba, se les preguntó a los usuarios si habían tenido experiencias anteriores con herramientas parecidas a las utilizadas en este proyecto o con videojuegos y, en consecuencia, se logró notar algo en los resultados de todos los puntajes de los estudiantes.

Semestre	Usuario	Total
2	Estudiante1_intento_1.csv	12
2	Estudiante3_intento_1.csv	15
6	Estudiante4_intento_1.csv	11
6	Estudiante4_intento_2.csv	15
6	Estudiante4_intento_3.csv	15
6	Estudiante4_intento_4.csv	20
8	Estudiante2_intento_1.csv	17
9	Estudiante5_intento_1.csv	15
9	Estudiante5_intento_2.csv	20
9	Estudiante5_intento_3.csv	20
9	Estudiante7_intento_1.csv	20
9	Estudiante7_intento_2.csv	20
11	Estudiante6_intento_1.csv	8
12	Estudiante8_intento_1.csv	13
12	Estudiante8_intento_2.csv	19
100	Doctora1_intento_1.csv	15

Figura 44. **Puntajes Finales Dora.** Fuente: Autor del proyecto.

Los estudiantes 1, 4, 5 y 7 afirmaron tener experiencia con videojuegos, de los cuales solo el 4, 5 y 7 realizaron más de una práctica y a su vez son los únicos que lograron el puntaje más alto registrado, siendo este 20/25. Pero incluso sin tener experiencia, el estudiante 8 logró una gran mejoría en una sola práctica con la mayor diferencia entre prácticas secuenciales de 6 puntos.

A continuación, se adjunta un video donde se realiza una demostración de los aplicativos creados en este proyecto: https://youtu.be/1JjodjXD_Dw.

5. Recomendaciones

- Se recomienda hacer uso de un computador con al menos 8GB de memoria RAM, ya que al realizar la práctica cada una de las herramientas que componen el proyecto deben estar ejecutándose, aunque sea en segundo plano.
- Se recomienda realizar la práctica con diferentes especialistas para poder tener una mejor percepción de los datos ideales reales.

6. Trabajo futuro

- Mejorar las interacciones visuales respecto a los modelos 3D de la rodilla y el alcance de la cámara del artroscopio.
- Crear más niveles con diferentes formas de realizar el procedimiento, ya que la ruta seguida es la del doctor que brindó el apoyo a la herramienta en esa fase de realización del proyecto.
- Tener en cuenta otro tipo de métricas más complejas como la fuerza aplicada a un target a partir del palpador, con el fin de poder medir otras características de las habilidades artroscópicas planteadas por la herramienta de evaluación ASSET.

7. Conclusiones

- Como resultado de este proyecto se logró desarrollar una herramienta de software fundamentada en gamificación y realidad mixta para el entrenamiento en exploración artroscópica de rodilla, que permite la evaluación de habilidades adquiridas por estudiantes.
- Es completamente necesario la ayuda de un profesional en el área de trabajo específica en este caso la ortopedia que pueda estar en constante comunicación y disposición para el apoyo al desarrollo y mejora de la herramienta.

- La experiencia de la realidad mixta y el seguimiento de objetos reales mediante cámaras en el campo de la ortopedia es llamativa para los estudiantes, generando así interés y curiosidad en el uso de esta.
- Los elementos de gamificación aplicados en el proyecto cumplieron el propósito de incentivar al usuario a mejorar sus propias puntuaciones además de querer ser el mejor de la aplicación generando así una competencia.
- La experiencia con los usuarios dejó ver cómo los videojuegos mejoran de cierta forma la coordinación ojo-mano y por eso los usuarios con experiencia en estos, podrían tener un mejor desempeño o entendimiento con este tipo de herramientas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Koehler, R. J., Amsdell, S., Arendt, E. A., Bisson, L. J., Bramen, J. P., Butler, A., Cosgarea, A. J., Harner, C. D., Garrett, W. E., Olson, T., Warme, W. J., & Nicandri, G. T. (2013). The Arthroscopic Surgical Skill Evaluation Tool (ASSET). *American Journal of Sports Medicine*, 41(6), 1229–1237. <https://doi.org/10.1177/0363546513483535>.
- [2] Van Hove, P. D., Tuijthof, G. J. M., Verdaasdonk, E. G. G., Stassen, L. P. S., & Dankelman, J. (2010). Objective assessment of technical surgical skills. In *British Journal of Surgery* (Vol. 97, Issue 7, pp. 972–987). <https://doi.org/10.1002/bjs.7115>.
- [3] De los Ríos G. Adolfo, Devia M. Napoleón. (2004). Modelo educativo en red para desarrollo de habilidades en artroscopia. <http://www.sccot.org.co/pdf/RevistaDigital/18-03-2004/09Modelo.pdf>.
- [4] Pedowitz, R. A., Esch, J., & Snyder, S. (2002). Evaluation of a virtual reality simulator for arthroscopy skills development. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 18(6), 1–6. <https://doi.org/10.1053/jars.2002.33791>.
- [5] Hodgins, J. L., Veillette, C., Biau, D., & Sonnadara, R. (2014). The knee arthroscopy learning curve: Quantitative assessment of surgical skills. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 30(5), 613–621. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2014.02.021>.
- [6] Ward, B. D., & Lubowitz, J. H. (2013). Basic Knee Arthroscopy Part 2: Surface Anatomy and Portal Placement. *Arthroscopy Techniques*, 2(4), e501–e502. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2013.07.013>.

- [7] Berezowsky, A. (2018). www.medigraphic.org.mx Artículo de revisión Desarrollo de plan de entrenamiento con simulación de artroscopía para residentes de ortopedia. In *Acta Ortopédica Mexicana* (Vol. 32, Issue 5). <http://www.medigraphic.com/actaortopedica>.
- [8] Merino, A. (n.d.). *Realidad Mixta*. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2018/11/Mixed_Reality.pdf.
- [9] Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness. *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference on Envisioning Future Media Environments - MindTrek '11*. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>.
- [10] Enric Serradell López. (2014). El uso de los juegos y simuladores de negocio en un entorno docente. *Oikonomics* N.º1, 86-92. https://oikonomics.uoc.edu/divulgacio/oikonomics/_recursos/documents/01/oikonomics-01-es.pdf#page=33.
- [11] Katherin, J., Medina, A., Liliana, M., Barreto, T., Camila, M., Medina, P., & Melgarejo, M. A. (n.d.). Análisis de la gamificación en relación a sus elementos Analysis of the gamification concerning its elements. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02548860/document>.
- [12] Barneva, R. P., Kanev, K., Kapralos, B., Jenkin, M., & Brimkov, B. (2017). Integrating Technology-Enhanced Collaborative Surfaces and Gamification for the Next Generation Classroom. *Journal of Educational Technology Systems*, 45(3), 309–325. <https://doi.org/10.1177/0047239516671945>.

- [13] Moody, L., Waterworth, A., McCarthy, A. D., Harley, P. J., & Smallwood, R. H. (2008). The feasibility of a mixed reality surgical training environment. *Virtual Reality*, 12(2), 77–86. <https://doi.org/10.1007/s10055-007-0080-8>.
- [14] Gonzalez, D. C., & Garnique, L. V. (2018). Development of a Simulator with HTC Vive Using Gamification to Improve the Learning Experience in Medical Students. 2018 congreso Internacional de Innovación y Tendencias En Ingeniería (CONIITI). doi: <https://doi.org/10.1109/coniiti.2018.8587058> .
- [15] NaTNet SDK - Stream Motion Tracking data across networks. (s. f.). OptiTrack. Recuperado 9 de agosto de 2023, de <https://optitrack.com/software/natnet-sdk/>.
- [16] Unir, V. (2022, 24 noviembre). La función del servidor web local. UNIR. Recuperado 8 de agosto de 2023, de <https://www.unir.net/ingenieria/revista/servidor-web-local/>.
- [17] MongoDB. (s. f.). ¿Qué es MongoDB? Recuperado 8 de agosto de 2023, de <https://www.mongodb.com/es/what-is-mongodb>.
- [18] Acerca | Node.js. (s. f.). Node.js. Recuperado 8 de agosto de 2023, de <https://nodejs.org/es/about>.
- [19] VIRtaMED | Simulador ArthroSTM para capacitación en artroscopia de rodilla y hombro. (s. f.). Recuperado 9 de agosto de 2023, de <https://www.virtamed.com/es/simuladores-capacitacion-medica/arthros/>.
- [20] Los roles de la metodología Scrum – Possible Inc. (2021, 8 junio). Recuperado 9 de agosto de 2023, de <https://www.possibleinc.com/blog/los-roles-de-la-metodologia-scrum/>.

- [21] HoloLens 2: Información general, características y especificaciones | Microsoft HoloLens. (s. f.). Recuperado 10 de agosto de 2023, de <https://www.microsoft.com/es-es/hololens/hardware>.
- [22] Data Transfer Object (DTO). (s. f.). Recuperado 11 de agosto de 2023, de <https://reactiveprogramming.io/blog/es/patrones-arquitectonicos/dto>.
- [23] Camp, C. L., Krych, A. J., Stuart, M. J., Regnier, T., Mills, K. M., & Turner, N. S. (2016). Improving resident performance in knee arthroscopy. *Journal of Bone and Joint Surgery, American Volume*, 98(3), 220-225. <https://doi.org/10.2106/jbjs.o.00440>.
- [24] Prime 13. (s. f.). OptiTrack. Recuperado 24 de agosto de 2023, de <https://optitrack.com/cameras/prime-13/>.