



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN DESARROLLO DE
VIDEOJUEGOS Y REALIDAD VIRTUAL

**Diseño y desarrollo de aplicación educativa de
realidad aumentada como apoyo a la enseñanza
anatómica**

FRANCO JOSÉ TORO REVECO

Profesor Guía: CÉSAR AVILA

Profesor Co-guía: CAMILA ALIAGA

Memoria para optar al título de
Ingeniero en Desarrollo de Videojuegos y Realidad Virtual

Talca – Chile
diciembre, 2025



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN DESARROLLO DE
VIDEOJUEGOS Y REALIDAD VIRTUAL

**Diseño y desarrollo de aplicación educativa de
realidad aumentada como apoyo a la enseñanza
anatómica**

FRANCO JOSÉ TORO REVECO

Profesor Guía: CÉSAR AVILA

Profesor Co-guía: CAMILA ALIAGA

Memoria para optar al título de
Ingeniero en Desarrollo de Videojuegos y Realidad Virtual

El presente documento fue calificado con nota: _____

Talca – Chile

diciembre, 2025

Mi familia que me apoyo a su manera a lo largo de todo este proceso educativo. A mi pareja por apoyarme en todo y siempre estar presente para mi. Pero por sobre todo a mis amigos que me ayudaron a llegar donde estoy y a poder seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al profesor César Avila y la profesora Camila Aliaga que me dieron ánimos de seguir cuando no tenía una noción clara de como hacer y cuando me estaba por rendir. Y sobre todo me apoyaron a lo largo de todo este largo proceso.

TABLA DE CONTENIDOS

	página
Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Tabla de Contenidos	III
Índice de Figuras	VI
Índice de Tablas	VIII
Resumen	IX
1. Introducción	1
1.1. Problema	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcance	3
1.4. Hipótesis	4
2. Marco teórico	5
2.1. Fundamentos de la realidad aumentada (RA)	5
2.2. RA en Educación y Capacitación	6
2.3. RA en Ciencias Biomédicas	6
2.4. Modelado Anatómico en RA	7
2.5. Interacción Usuario-RA	8
3. Estado del arte	10
3.1. 3D Organon VR Anatomy	10
3.2. BioCloud 3D Anatomy	10
3.3. Zygotebody	11
3.4. BioDigital Human	11
3.5. Complete Anatomy	12

3.6.	Aplicaciones de enseñanza con RA	12
3.6.1.	MergeCube	12
3.6.2.	JigSpace	13
3.7.	Análisis del Estado del Arte	14
4.	Marco metodológico	15
4.1.	Metodología a Utilizar	15
4.2.	¿Por qué elegir esta metodología?	15
4.3.	Adaptación al proyecto	15
4.4.	Herramientas a utilizar para la realización del proyecto	16
4.5.	Metodología e Instrumento de Evaluación	17
4.5.1.	Criterios de selección de expertos	18
5.	Desarrollo de prototipo	20
5.1.	Creación de Modelos	20
5.2.	Mejora de imperfecciones de los modelos	22
5.3.	Desarrollo del prototipo	22
5.3.1.	Visualización e iluminación de las partes del cráneo	25
6.	Diseño de prototipo	27
6.1.	Diseño de Interfaz	27
6.2.	Mejora de optimización y navegación	28
6.3.	Programación de la aplicación	29
6.3.1.	Clonación de modelos	29
6.3.2.	Control de visualización anatómica	29
6.3.3.	Detección de marcadores	30
6.3.4.	Interacción Táctil y Gestual	30
7.	Pruebas y resultados	31
7.1.	Pruebas de usuario	31
7.2.	Resultados	31
7.2.1.	Análisis de Usabilidad (SUS)	31
7.2.2.	Hallazgos Específicos	32
7.3.	Conclusiones de la Evaluación	38
7.4.	Comentarios adicionales y mejoras futuras	39

8. Conclusiones	40
Bibliografía	42
Bibliografía	42
9. ANEXOS	46
ANEXOS	46
9.1. Desarrollo de modelos 3D	46
9.1.1. Intento 1 de mejora de imperfecciones	46
9.1.2. Intento 2 de mejora de imperfecciones	51
9.1.3. Intento 3 de mejora de imperfecciones	53
9.2. Perfil de expertos a los que se les aplicó la encuesta	55
9.3. Carta Gantt del proyecto	57
9.4. Scripts de Unity	58
9.4.1. Clonación de modelos 3D	58
9.4.2. Hueso Manager	60
9.4.3. Mostrar Nombre modelos	63
9.4.4. Detección de objeto observado(QR)	64
9.4.5. Interacciones con modelo clonado	65
9.4.6. Detección y principales interacciones con Vuforia	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
2.1. Aplicación Quiver en funcionamiento	7
3.1. 3D organon VR en ejecución [1]	10
3.2. BioCloud 3D Anatomy uso según su video promocional [2]	11
3.3. Zygotebody en su plataforma web [3]	11
3.4. BioDigital Human uso según su video promocional [4]	12
3.5. Complete Anatomy uso según su video promocional [5]	13
3.6. MergeCube en su pagina oficial [6]	13
3.7. JigSpace pagina oficial [7]	14
4.1. Diagrama demostrativo de la metodología Extreme Programming [8]	16
5.1. Demostración de escaneo, hueso en superficie blanca que se escanea. Foto realizada con el escáner	20
5.2. Visualizacion de raw del hueso	21
5.3. Visualizacion de hueso al digitalizar	21
5.4. Implementación inicial de modelos en el entorno de Unity	23
5.5. Pruebas de Prototipo de concepto	24
5.6. Wireframe de la aplicación	25
5.7. Visualización de secciones iluminadas	26
6.1. comparativa entre la antigua y nueva interfaz	27
6.2. Implementación de botón de salir y botón de casa(regreso al inicio)	28
6.3. Diagrama de navegación	29
7.1. Gráfico de Distribución de puntajes SUS	32
7.2. Respuestas de SUS	33
7.3. Resultados de la experiencia de uso	34
7.4. Resultados de la Utilidad en el aprendizaje	35
7.5. Resultados de la comparación entre modelo físico y virtual	36
7.6. Resultados de la opinión general	37
7.7. Diagrama general del ítem encuestado	38
7.8. Toma de pruebas de usuario	39

9.1. Relleno de agujeros en los modelos	47
9.2. Modelo con elevado número de vértices	48
9.3. Modelo de cráneo con malla optimizada	49
9.4. Limpieza de imperfecciones superpuestas al modelo original	50
9.5. Agujeros generados tras la eliminación de imperfecciones	50
9.6. Modelo recreado mediante el modificador Conform	52
9.7. Visualización de la malla interna del modelo	53
9.8. Reparación de agujeros en el modelo	54
9.9. Reducción del número de vértices	54
9.10. Mejora del modelo mediante herramientas de escultura en Blender . .	54
9.11. Carta Gantt	57

ÍNDICE DE TABLAS

página

RESUMEN

En la actualidad, el constante avance de las tecnologías ha potenciado diversas áreas. Sin embargo, la educación es una de las pocas áreas que no ha aprovechado plenamente el potencial de las mismas. Por ello, es fundamental adoptar herramientas tecnológicas e innovaciones que no solo acompañen este crecimiento, sino que también mejoren la calidad de la enseñanza. Además, las nuevas tecnologías permiten a los estudiantes acceso a una amplia variedad de recursos para fortalecer su auto-aprendizaje.

En la enseñanza de la anatomía en el Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad de Talca, se requiere interactuar con modelos físicos y muestras biológicas. Actualmente, este material didáctico no es equitativo ni suficiente para que todos los estudiantes puedan interactuar con él y aprender en su totalidad el contenido relacionado, estando limitado por la cantidad de material disponible y por el tiempo de cada estudiante para acceder a él. Con el paso del tiempo, estos recursos se han desgastado o han perdido su integridad, provocando una desigualdad evidente a la hora del estudio de estos modelos, ya que no se puede examinar el material en detalle y solo se dispone de un horario específico para interactuar con dichos recursos. Esto dificulta el auto-aprendizaje de los estudiantes en sus hogares y los limita a recordar cómo fue la experiencia e interacción con el material didáctico en el laboratorio.

Tomando en cuenta estas limitaciones, se busca crear una solución a la problemática desarrollando una aplicación que facilite la interacción con modelos 3D afines al material, para potenciar el auto-aprendizaje de los estudiantes y generar una enseñanza igualitaria. Para esto, se realizará el escaneo del material didáctico, generando su modelo virtual en alta fidelidad para su uso en una aplicación móvil.

Para el desarrollo de esta aplicación se utilizará la metodología Extreme Programming, esto para lograr el desarrollo ágil del software, el cual podrá recibir un feedback de manera inmediata y constante para su mejora. Esto se logra gracias a que la metodología potencia la comunicación con el colaborador, el cual podrá seguir el proyecto a lo largo de todo su desarrollo y dar sugerencias en cada fase.

Para evaluar la aplicación, se realizarán pruebas con profesores del área, permitiendo así obtener un análisis correspondiente a la comprensión de conceptos teóricos

que deberían ver en clases. Las pruebas de usuario se llevarán a cabo utilizando un cuestionario validado de usabilidad para evaluar cómo el usuario interactúa con la aplicación, con el objetivo de analizar, observar y mejorar la experiencia del usuario, garantizando que la aplicación sea fácil e intuitiva para este.

Esta aplicación busca incidir positivamente en la mejora del auto-aprendizaje de los estudiantes del Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad de Talca, facilitando el acceso al material didáctico a la hora de estudiar y repasar el contenido visto en clases. Además, permite que todos los estudiantes tengan acceso a representaciones fieles de los elementos de estudio utilizados en clases.

1. Introducción

El avance acelerado de las tecnologías actuales ha permitido su integración en múltiples sectores, generando grandes beneficios. Sin embargo, en el ámbito educativo, aún existen áreas donde su potencial no se ha aprovechado plenamente para mejorar los procesos de enseñanza, especialmente en disciplinas prácticas como la anatomía. Esto resalta la necesidad de implementar herramientas tecnológicas que promuevan una educación de calidad y accesible, brindando recursos que faciliten y fortalezcan el aprendizaje de los estudiantes.

Un caso específico es la enseñanza de anatomía en el Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad de Talca, donde la disponibilidad y equidad en el acceso a material didáctico resulta un desafío. Este problema se agrava considerando que el aprendizaje anatómico requiere la interacción directa con modelos físicos y muestras biológicas, recursos que no siempre son suficientes ni están disponibles para todos los estudiantes. Además, estos materiales se desgastan con el tiempo, perdiendo precisión respecto a las estructuras anatómicas reales, lo que constituye una barrera para aquellos que desean estudiar fuera de los horarios de laboratorio.

Esta memoria tiene como objetivo el diseño y desarrollo de una aplicación móvil que permita a los estudiantes explorar modelos anatómicos 3D de alta fidelidad, basados en los recursos utilizados en las clases del Departamento de Ciencias Biomédicas mediante su digitalización. Esta herramienta busca mejorar el acceso a materiales educativos limitados o escasos, promoviendo un entorno de estudio accesible y equitativo para todos los estudiantes.

Al final de este documento, se exponen los resultados obtenidos tras pruebas con docentes, evaluando tanto la comprensión de los contenidos como la usabilidad de la aplicación. Con base en los resultados, se ofrecen conclusiones y recomendaciones para el desarrollo futuro de herramientas tecnológicas en la enseñanza de anatomía.

1.1. Problema

La enseñanza de anatomía en el Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad de Talca enfrenta un reto significativo: la disponibilidad desigual y limitada del material didáctico. La interacción directa con modelos físicos y muestras biológicas es esencial para que los estudiantes comprendan de manera adecuada la estructura y organización del cuerpo humano[9]. Sin embargo, la cantidad de estos recursos es insuficiente para cubrir la demanda de cada curso, y el acceso a los mismos está restringido a los horarios de laboratorio, limitando las oportunidades de autoaprendizaje y generando desigualdades en la experiencia educativa. Esto impacta negativamente a aquellos estudiantes que no logran dedicar suficiente tiempo al material, afectando su rendimiento académico. Además, el material anatómico disponible se deteriora con el uso y el paso del tiempo, lo que compromete su precisión como modelo de referencia. Un hueso desgastado o deformado no permite una observación detallada de sus cavidades y superficies, lo que dificulta la comprensión precisa de la anatomía[10].

Estudios han demostrado que el uso de la realidad aumentada en la educación, cuando se fundamenta en un análisis de enfoques pedagógicos, puede potenciar el aprendizaje de forma significativa. La realidad aumentada permite una comprensión visual más profunda y personaliza la enseñanza, aumentando el interés y compromiso de los estudiantes. De esta manera, su implementación ofrece una experiencia de aprendizaje interactiva y accesible [11].

1.2. Objetivos

En esta sección se presentan los objetivos necesarios para la realización de esta memoria de título.

1.2.1. Objetivo general

El objetivo de esta memoria es "Crear de una Aplicación Educativa Basada en realidad aumentada para el Apoyo al Estudio de Modelos Anatómicos de los estudiantes de anatomía del Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad de Talca con base en modelos anatómicos 3D del sistema oseo."

1.2.2. Objetivos específicos

- Revisión del estado de arte sobre aplicaciones existentes de realidad aumentada enfocadas en la educación.
- Digitalizar modelos anatómicos para ser implementados en una aplicación de realidad aumentada.
- Diseñar las funcionalidades, interfaz y componentes de una aplicación en realidad aumentada para la proyección de modelos 3D.
- Desarrollar el prototipo de la aplicación móvil con realidad aumentada.
- Evaluar rendimiento de la aplicación a través de una encuesta.

1.3. Alcance

El alcance del proyecto tiene como meta finalizar con un prototipo que contenga huesos modelados en 3D. Estos son:

- Cráneo
- Pelvis
- Húmero
- Tibia
- Fémur
- Coxal

Haciendo énfasis en el cráneo, el cual permitirá visualizar la información relacionada con el modelo 3D en relación con el material impartido en las clases de anatomía, permitiendo además que el usuario interactúe con este modelo a través de gestos detectados por la propia aplicación. El resto de modelos serán visibles con la realidad aumentada, pero no interactivos. Estos huesos fueron facilitados por el departamento de Ciencias Biomédicas, los cuales son fáciles de identificar y son distinguibles para potenciar el objetivo de la aplicación.

1.4. Hipótesis

El uso de la aplicación de visualización anatómica con realidad aumentada es potencialmente efectiva para el estudio de anatomía de manera autónoma.

2. Marco teórico

2.1. Fundamentos de la realidad aumentada (RA)

La realidad aumentada es la tecnología que superpone información digital como imágenes, videos o datos, en el entorno físico del usuario [12], creando una interacción entre el mundo real y los elementos virtuales. Por su contraparte la Realidad Virtual crea un entorno totalmente digital, inmersivo, y simulado en el cual los usuarios pueden interactuar. Estableciendo esta diferencia entre ambas tecnologías se denota que la realidad aumentada mezcla elementos digitales en el mundo virtual y la Realidad Virtual reemplaza el entorno por uno completamente virtual [13]. Es importante destacar el concepto de inmersión. que estas tecnologías generan en el usuario, ya que, la realidad aumentada permite ver el entorno real mientras integra objetos virtuales generando un mínimo de inmersión, mientras que la Realidad Virtual proporciona una experiencia de inmersión total en un entorno virtual [14].

La realidad aumentada nos permite que los elementos digitales se integren armoniosamente en el entorno físico del usuario. Este proceso comienza con la captura de datos del entorno físico mediante cámaras y sensores que permiten escanear el espacio, reconociendo principalmente superficies y objetos claves. A partir de aquí, la tecnología de RA utiliza algoritmos de reconocimiento y seguimiento de marcadores o características del entorno, que le permiten anclar el contenido digital en ubicaciones precisas en tiempo real [15]. Además, la regionalización en tiempo real es fundamental para adaptar estos elementos virtuales al movimiento del usuario y al entorno físico, creando una experiencia mas fluida.

Los dispositivos móviles, como smartphones y tablets, son las principales herramientas para la realidad aumentada debido a su portabilidad, accesibilidad y disponibilidad. Además de ser ampliamente utilizados, estos dispositivos cuentan con

cámaras, sensores y capacidad de procesamiento suficientes para soportar aplicaciones de realidad aumentada. Su facilidad de uso y familiaridad los convierten en ideales para aplicaciones educativas, permitiendo el acceso a visualizaciones en 3D sin necesidad de equipos costosos o especializados.

2.2. RA en Educación y Capacitación

La realidad aumentada en los últimos años ha generado un gran impacto en el ámbito educativo y de capacitación al ofrecer una experiencia inmersiva y de fácil acceso [16]. La realidad aumentada facilita una comprensión más profunda de conceptos complejos y fomenta una mayor participación y retención de los estudiantes. Esto se hace más evidente en áreas que requieren la visualización de conceptos abstractos, como las ciencias y la medicina. [17]

Al implementar la realidad aumentada en el ámbito educativo, se pueden visualizar múltiples beneficios. En primer lugar, permite que el usuario interactúe con contenido educativo en un entorno realista y manipulable [18], lo que facilita el aprendizaje de conceptos complejos y la retención del contenido a largo plazo, manteniendo siempre el interés del usuario y generando una motivación constante [19]. Además, la realidad aumentada permite personalizar el aprendizaje, adaptándose a diferentes ritmos y estilos de aprendizaje, lo que hace la experiencia más inclusiva [20]. Ejemplos claros de esto son el uso de la realidad aumentada en capacitaciones, como en las empresas de ensamblaje de motores o piezas de autos, permitiendo enseñar a los trabajadores cómo realizar estas tareas y capacitarlos para ejecutarlas. Un ejemplo de esto es la conocida cadena de autos BMW que realiza sus capacitaciones con realidad aumentada. En el ámbito de la educación en general, tenemos ejemplos como Quiver, una aplicación de aprendizaje para niños pequeños que les permite aprender mientras exploran diversos recursos que potencian su aprendizaje.

2.3. RA en Ciencias Biomédicas

La realidad aumentada en la educación de medicina permite a los estudiantes interactuar con modelos anatómicos permitiendo que los estudiantes puedan visualizar modelos 3D que se superponen al mundo real, facilitando un aprendizaje más profundo y práctico sin la necesidad de acceso constante a especímenes físicos. Estos

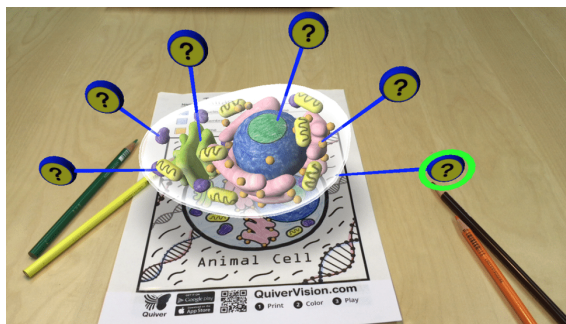


Figura 2.1: Aplicación Quiver en funcionamiento

modelos pueden permitir al estudiante navegar entre los diferentes planos y niveles de profundidad del modelo anatómico, permitiendo explorar capas de tejidos, articulaciones, huesos y órganos, logrando así entender sus relaciones. Esto también permite que los profesores puedan enseñar desde anatomía básica hasta nivel quirúrgico [21]. Ejemplos claros de realidad aumentada en la educación médica y científica incluyen, en el ámbito de la medicina, las aplicaciones Complete Anatomy [5] y Visible Body [22], que permiten a los estudiantes aprender anatomía y fisiología de manera interactiva y práctica, mejorando la comprensión y preparación para la práctica clínica.

2.4. Modelado Anatómico en RA

En el modelado anatómico se debe tener en consideración el objetivo que se quiere lograr y buscar la mayor fidelidad posible con el mismo. La base de un modelo anatómico preciso radica en la obtención de imágenes médicas de alta calidad [23]. Para esto, se utilizan tecnologías como la tomografía computarizada o la resonancia magnética, en el caso de querer obtener una imagen completamente precisa de un organismo vivo. Por otra parte, existen otras opciones para realizar un escaneo más sencillo y que usan muestras específicas, tales como el modelado basado en escáneres, por ejemplo LIDAR o el escaneo fotogramétrico, permitiendo capturar detalles de las muestras que se pueden manipular.

La fotogrametría específicamente implica capturar múltiples imágenes fotográficas de un objeto desde diferentes ángulos y usar un software para crear un modelo 3D a partir de estas imágenes [24]. Para mejorar la comprensión visual y clínica, se utilizan texturas fotorealistas y efectos de sombreado que destacan capas anatómi-

cas, facilitando la identificación de cada parte. Al contar con una estructura básica, es posible refinarla utilizando técnicas de modelado geométrico para mejorar detalles y texturizarla para simular la apariencia de modelos reales.

Los modelos anatómicos en aplicaciones de realidad aumentada enfrentan importantes desafíos, siendo la precisión, actualización y fidelidad de estos, siendo esto último lo mas complejo de emplear, teniendo la precisión como un aspecto crítico. En el ámbito clínico, esta precisión debe ser milimétrica, lo que implica el uso de imágenes médicas de alta resolución y algoritmos avanzados de segmentación y reconstrucción para minimizar errores. Además, la anatomía humana presenta variaciones que pueden requerir actualizaciones constantes en el contenido anatómico, especialmente para que estos modelos estén alineados con los últimos avances médicos. Las limitaciones de procesamiento también son un reto, ya que es necesario mantener la fidelidad visual sin comprometer el rendimiento.

2.5. Interacción Usuario-RA

Para lograr una experiencia de usuario inmersiva, el diseño debe ser intuitivo y accesible, utilizando controles de navegación simples y ajustables según las preferencias del usuario [25]. La retroalimentación inmediata es crucial en aplicaciones de este tipo, ya que una respuesta visual o auditiva al tocar o manipular partes anatómicas refuerza la comprensión de las interacciones. Además, optimizar la visualización mediante técnicas de sombreado y la capacidad de aislar estructuras anatómicas mejora significativamente la claridad y evita la sobrecarga visual, permitiendo al usuario concentrarse en detalles específicos del modelo sin distracciones. Las interacciones naturalizadas, como los gestos de rotación o acercamiento mediante sensores de movimiento, aportan realismo y una conexión más intuitiva con los modelos [26].

Desde una perspectiva cognitiva, el aprendizaje anatómico usando RA se beneficia de varios aspectos pedagógicos clave. La RA facilita el aprendizaje espacial, una habilidad fundamental en anatomía, al presentar las estructuras anatómicas en un entorno tridimensional donde el usuario puede comprender mejor las relaciones y ubicaciones entre órganos y sistemas [27]. Además, al ser una experiencia inmersiva, la RA refuerza la retención de información a largo plazo, pues la interacción activa y repetitiva con los modelos facilita la consolidación del conocimiento. La flexibilidad de la RA también permite adaptarse a diferentes estilos de aprendizaje, integran-

do elementos visuales, táctiles y auditivos, lo cual promueve una comprensión más profunda e inclusiva. Por último, para evitar la sobrecarga cognitiva, es esencial que el contenido se presente de forma segmentada y progresiva, permitiendo que el estudiante explore cada sistema anatómico de forma gradual y a su propio ritmo.

3. Estado del arte

3.1. 3D Organon VR Anatomy

3D Organon VR Anatomy es una aplicación de Realidad Virtual que ofrece modelos interactivos en 3D del cuerpo humano. La cual posee múltiples funcionalidades como la visualización detallada de sistemas y órganos, permitiendo navegar entre estas y poder tener una comprensión más completa de los mismos. Al ser diseñada en Realidad virtual permite una inmersión completa del usuario.

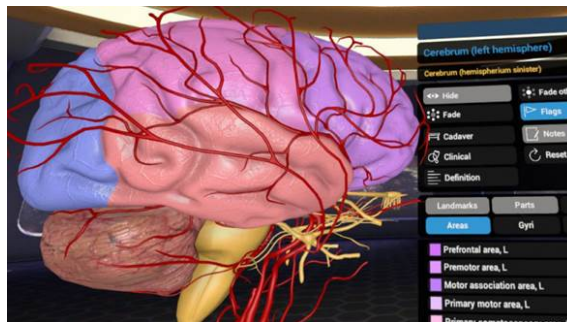


Figura 3.1: 3D organon VR en ejecución [1]

3.2. BioCloud 3D Anatomy

BioCloud 3D Anatomy es una plataforma que trabaja en la nube la cual proporciona modelos anatómicos en 3D accesibles desde cualquier dispositivo que tenga acceso a internet. Esta plataforma permite a los usuarios visualizar el cuerpo humano y sus sistemas principales de manera interactiva.

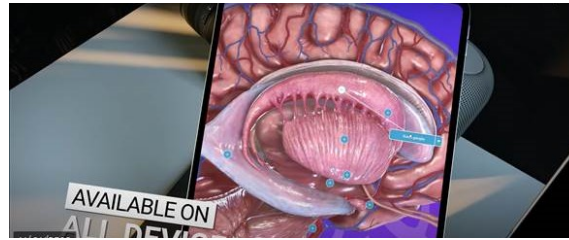


Figura 3.2: BioCloud 3D Anatomy uso según su video promocional [2]

3.3. Zygotebody

Zygotebody es una aplicación web que ofrece visualización en 3D de modelos anatómicos del cuerpo humano. Los usuarios pueden navegar por el cuerpo humano, con diversas opciones que permiten ocultar o resaltar estructuras del cuerpo, mejorando la comprensión del mismo.

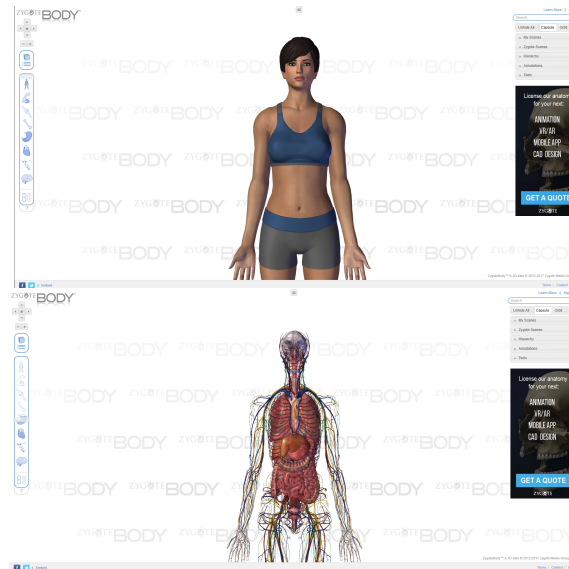


Figura 3.3: Zygotebody en su plataforma web [3]

3.4. BioDigital Human

BioDigital Human es una plataforma de anatomía en 3D que permite visualizar modelos anatómicos con simulaciones de condiciones y procedimientos médicos. Los usuarios pueden navegar por el cuerpo y entender procesos patológicos y personalizar

la experiencia para profundizar el estudio de enfermedades o estructuras del cuerpo humano.



Figura 3.4: BioDigital Human uso según su video promocional [4]

3.5. Complete Anatomy

Complete Anatomy es una aplicación de anatomía en 3D que ofrece modelos de alta resolución del cuerpo humano, con funcionalidades que incluyen visualización en múltiples capas, simulación de movimiento muscular y funciones de disección virtual. También proporciona contenido educativo y herramientas de colaboración para estudiantes y profesionales de la salud.

3.6. Aplicaciones de enseñanza con RA

3.6.1. MergeCube

MergeCube es una herramienta de realidad aumentada que permite a los usuarios interactuar con modelos 3D utilizando un cubo físico que funciona como soporte de proyección. Esta tecnología facilita la visualización de objetos anatómicos y

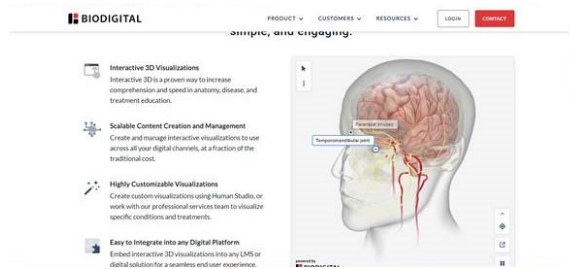


Figura 3.5: Complete Anatomy uso según su video promocional [5]

científicos en 3D desde cualquier dispositivo compatible, siendo útil para entornos educativos interactivos.



Figura 3.6: MergeCube en su pagina oficial [6]

3.6.2. JigSpace

JigSpace es una aplicación de realidad aumentada que permite visualizar y explorar modelos en 3D de diferentes temas, incluyendo la anatomía humana. A través de una experiencia interactiva, los usuarios pueden comprender mejor las estructuras y sistemas anatómicos mediante la manipulación de modelos en RA, ideal para educación y aprendizaje práctico.

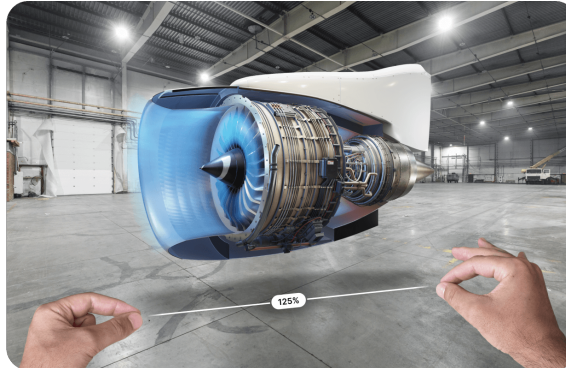


Figura 3.7: JigSpace pagina oficial [7]

3.7. Análisis del Estado del Arte

Tomando en cuenta todas las tecnologías de enseñanza de medicina que usan modelos anatómicos podemos entender que el conocimiento que usan se basa en explicar y ejemplificar los diversos sistemas y órganos que componen el cuerpo humano. Además, de permitir la interacción del usuario con los mismo y poder explicarle de una manera más didáctica los contenidos asociados a estos modelos. Tomando en cuenta lo que se vio de las diversas aplicaciones lo que diferencia y denota la aplicación que se busca desarrollar es la creación de modelos a base de los materiales con los cuales los alumnos practican y tienen evaluaciones, haciéndolas así un material importante para el aprendizaje y su evaluación. Estos materiales serán escaneadas y llevadas a la aplicación. Esto es una gran diferencia con respecto a las aplicaciones anteriormente mencionadas, ya que, estas mismas muestran solo modelos recreados en base a los reales, pero su fidelidad es casi nula y solo mantienen la forma base que representa las muestras.

4. Marco metodológico

4.1. Metodología a Utilizar

En este caso se utilizara la metodología de Extreme Programming (XP). Esta es una metodología ágil que ha sido seleccionada por el enfoque en la colaboración, la flexibilidad y la entrega de software de alta calidad en ciclos cortos [28], lo que combina perfectamente con la aplicación en la que se está trabajando [29].

4.2. ¿Por qué elegir esta metodología?

Esta metodología permite hacer ciclos de desarrollo que permiten entregas incrementales mediante iteraciones de desarrollo cortas, entre la parte técnica y el desarrollador[30]. Esto asegura que los avances sean tangibles y se puedan ajustar con mayor eficiencia en función a la retroalimentación recibida. De este modo una comunicación activa con el cliente o empleador y una mejor gestión del proyecto [31].

Otra de las cualidades por las que se eligió esta metodología es su enfoque a la calidad del producto que se busca lograr, con su desarrollo guiado por pruebas y la adaptación o mejora continua con base en la retroalimentaciones entregadas por estas pruebas [32].

4.3. Adaptación al proyecto

Para poder implementar la metodología de Extreme Programming en este proyecto, se definen los roles de las partes involucradas. En esta memoria los roles de desarrollador y dirección de proyecto se unirán a un solo rol que sera ligada a una sola

persona. Esta sera la encargada de garantizar que los objetivos del proyecto se cumplan dentro de los plazos establecidos y coordinará la comunicación constante entre las partes involucradas. Por otra parte el encargado de supervisar y testear el proyecto será César Avila del Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad de Talca. Tomando el rol de la contra parte técnica dando constante retroalimentación y asegurando que las funcionalidades cumplan con siguientes expectativas:

1. Desarrollo de proyecto inicial
2. Implementación de mejoras assets y funcionalidades
3. Diseño e implementación de interfaz de usuario
4. Integración de optimización
5. Mejoras visuales y funcionales
6. Ajustes finales

Se establece que a lo largo del proceso se realice una retroalimentación tras la conclusión de cada etapa del prototipo, para mejorar este mismo

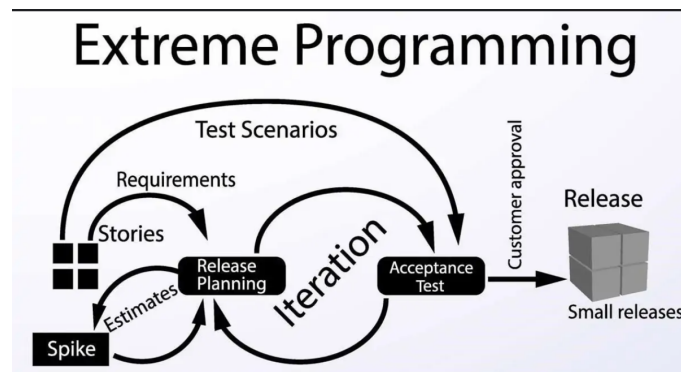


Figura 4.1: Diagrama demostrativo de la metodología Extreme Programming [8]

4.4. Herramientas a utilizar para la realización del proyecto

Para el desarrollo de este proyecto se utilizarán diversas herramientas que facilitarán la implementación de la metodología Extreme Programming (XP). Como entorno principal, se empleará Unity, una plataforma versátil para el desarrollo de

aplicaciones interactivas en 3D, junto con Vuforia, una herramienta que permitirá proyectar los modelos anatómicos en dispositivos móviles usando la tecnología de realidad aumentada.

Para poder captar los modelos anatómicos en base a el materia real que se encuentra en el departamento de Ciencias Biomédicas se utilizara el Escaner Creality Ferret Pro y su aplicación, " *Creality Scan*", el cual nos permitirá escanear con base en fotogrametría, obteniendo la mayor fidelidad posible. Junto con esto se utilizan diversos software de tratado de modelos para poder eliminar o rellenar imperfecciones que puedan presentar los diversos modelos. Estos softwares son:

- Meshmixer
- Bambu Studio
- PrusaSlicer

Para realizar el proceso de retopología y ajuste de los modelos anatómicos en 3D se utilizará 3ds Max y Blender, estas herramientas son ideales para crear representaciones visuales de alta precisión y fidelidad. Además, esto permitirá bajar el nivel de polígonos y complejidad de los diversos modelos escaneados, más concretamente en sus diversas curvas o ángulos específicos de cada hueso.

La gestión del proyecto se realizará mediante una Carta Gantt (Ver Anexo 9.3), que permitirá planificar las actividades en cada iteración, organizar los tiempos de desarrollo y asegurar que los hitos del proyecto se cumplan dentro de los plazos establecidos.

4.5. Metodología e Instrumento de Evaluación

Para validar el prototipo desarrollado, se diseñó un estudio experimental de carácter cualitativo. La recolección de datos se realizó mediante un cuestionario estructurado, diseñado para medir la percepción del usuario en dimensiones clave. Considerando 4 criterios básicos basados en poder evaluar criterios técnicos de la aplicación. Esto acompañado de un criterio de encuesta validado.

El instrumento de evaluación consta de 32 preguntas y utiliza una escala de Likert de 5 puntos (donde 1 es "Muy en desacuerdo", 5 es "Muy de acuerdo"). El cuestionario se segmentó en cinco secciones estratégicas:

1. **Experiencia de uso:** Evalúa la facilidad de instalación, la claridad de la interfaz gráfica y la intuición en los controles durante la primera interacción.
2. **Utilidad en el aprendizaje:** Mide la percepción pedagógica, validando si la aplicación fomenta el autoaprendizaje y facilita la comprensión de estructuras anatómicas complejas.
3. **Comparación (Físico vs. Virtual):** Analiza la preferencia del usuario al contrastar el modelo de realidad aumentada frente a los modelos óseos plásticos tradicionales, enfocándose en la accesibilidad y detalle visual.
4. **Opinión General:** Recoge la satisfacción global, la probabilidad de recomendación (NPS) y comentarios abiertos sobre el potencial de la herramienta.
5. **Escala de Usabilidad del Sistema (SUS):** Se implementó el estándar industrial, que consiste en 10 preguntas alternadas para calcular un puntaje de usabilidad de 0 a 100.[33]

4.5.1. Criterios de selección de expertos

La evaluación del prototipo fue realizada por un grupo de expertos seleccionados con el objetivo de garantizar la validez técnica y pedagógica de los resultados obtenidos. La selección de los participantes se realizó considerando criterios específicos relacionados con su formación académica y experiencia profesional. Estos criterios fueron:

- Formación académica en áreas de la salud, tales como anatomía, ciencias biomédicas, medicina, enfermería o carreras afines.
- Experiencia docente o académica en la enseñanza de contenidos anatómicos o morfológicos, ya sea en contextos universitarios o técnicos.
- Experiencia y conocimientos con respecto a modelos anatómicos reales utilizados para la enseñanza.
- Disposición a participar voluntariamente en el proceso de evaluación, realizando el uso completo del prototipo y respondiendo el instrumento de evaluación de manera informada.

La aplicación de estos criterios permitió conformar un grupo de evaluadores ideal para analizar el prototipo desde una perspectiva tanto técnica como pedagógica. Asegurando de esta forma que los resultados obtenidos reflejen una evaluación fundamentada y pertinente al contexto educativo en el que se espera utilizar esta aplicación.

5. Desarrollo de prototipo

5.1. Creación de Modelos

Para la creación de los modelos 3D se llevaron a cabo diversas sesiones de trabajo, orientadas a un exhaustivo proceso de digitalización de huesos reales. Dicho proceso se efectuó mediante múltiples escaneos utilizando un escáner 3D CR-Scan Ferret Pro junto con su aplicación asociada, Creality Scan. Los huesos empleados fueron facilitados por la Escuela de Ciencias Biomédicas, con la debida autorización institucional, asegurando así la máxima fidelidad y rigor anatómico de los modelos digitales. De este modo, se buscó replicar los materiales óseos utilizados en las clases de anatomía.



Figura 5.1: Demostración de escaneo, hueso en superficie blanca que se escanea. Foto realizada con el escáner

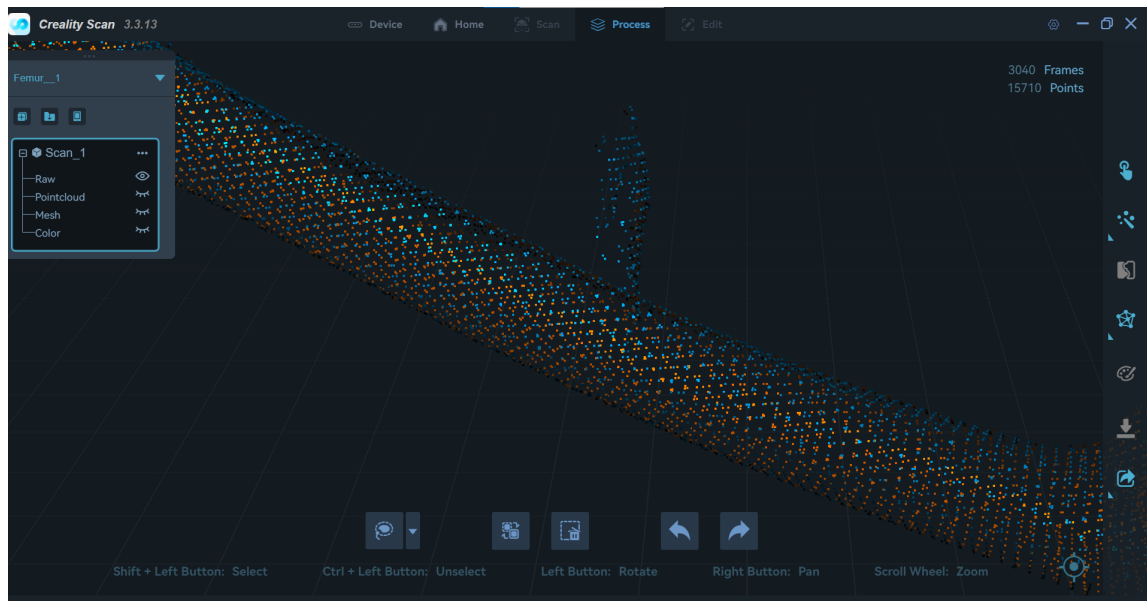


Figura 5.2: Visualizacion de raw del hueso

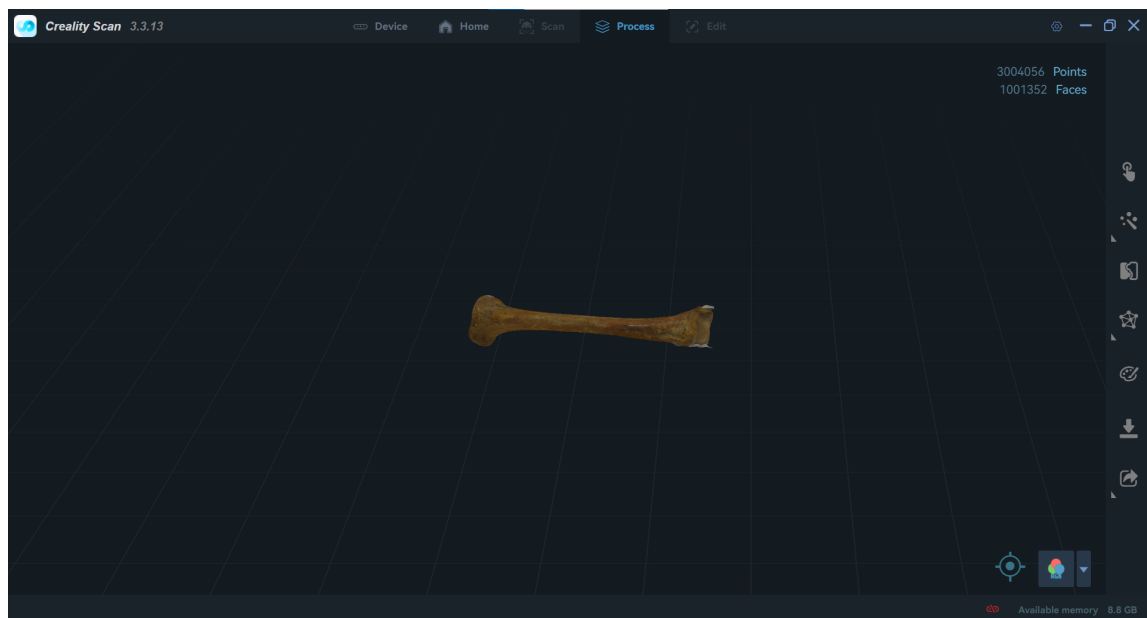


Figura 5.3: Visualizacion de hueso al digitalizar

5.2. Mejora de imperfecciones de los modelos

Una vez obtenidos los modelos base a través del proceso de escaneo, el siguiente paso consistió en la eliminación de las imperfecciones inherentes a la tecnología de escaneo utilizada. Este proceso de postproducción digital resultó esencial para garantizar la calidad y la precisión anatómica de los modelos 3D. Para su realización, se emplearon múltiples aplicaciones de desarrollo hasta alcanzar un resultado fiel al hueso original.

En este paso se logró bajar el poligonaje de los modelos 3D para que al exportar a la aplicación, estos no sean un problema a la hora de utilizar recursos de los diversos dispositivos en los que se espera que se pueda utilizar la aplicación.

5.3. Desarrollo del prototipo

El desarrollo de la aplicación comenzó con el primer modelo que se completó, el cual fue el cráneo con el primer intento de modelado. Esta aplicación usó *Vuforia* como base para la interacción con la realidad aumentada. Esto se desarrolla en el entorno de programación de *Unity*. El prototipo se desarrolló en torno a los huesos que se escanearon y con la posibilidad de añadir más modelos a futuro. Usando *ImageTarget* para poder ser utilizado en la aplicación con realidad aumentada.

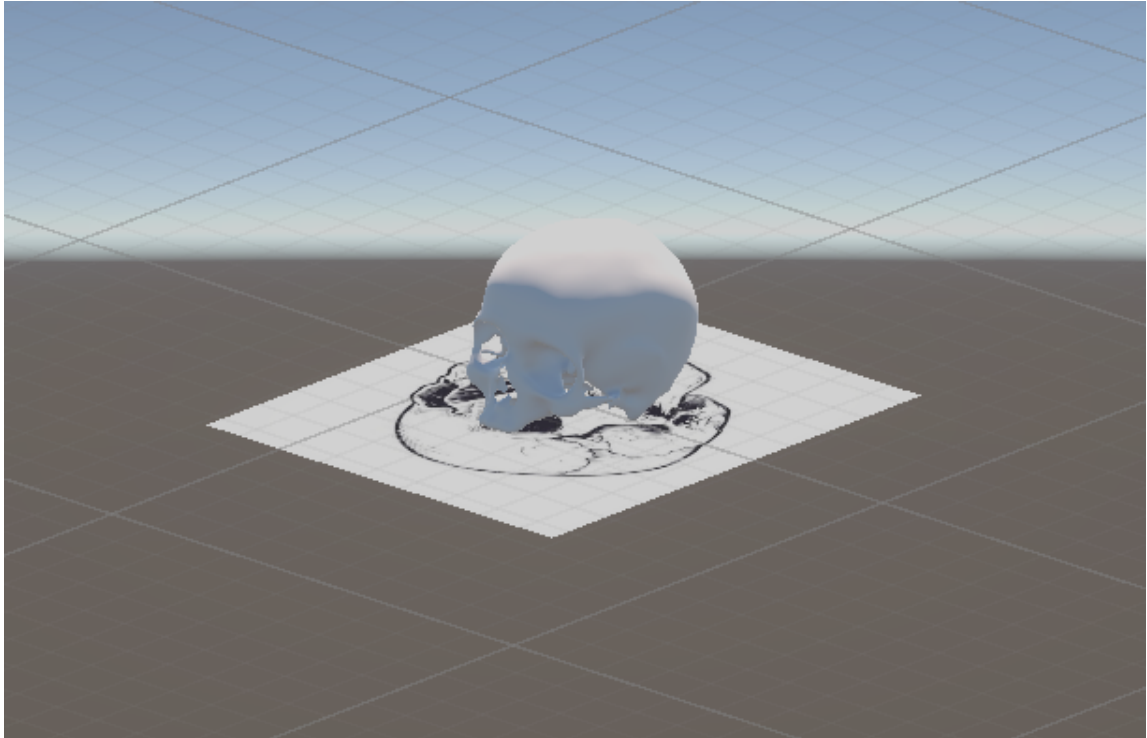


Figura 5.4: Implementación inicial de modelos en el entorno de Unity

Al realizar la implementación de las configuración correspondientes y la exportación de recursos se estableció un prototipo de prueba de concepto. Este se probó con el simulador de Unity y posteriormente con un celular de gama media (Samsung A54). Se establecieron las funcionalidades principales, las cuales nos permitió "capturar"^{el} modelo, generar el modelo original frente a la cámara, el cual se puede interactuar con gestos usando los dedos en la pantalla del dispositivo.



Figura 5.5: Pruebas de Prototipo de concepto

Con la base del prototipo se estableció una interfaz de usuario básica para el usuario. De igual forma debe ser intuitiva para no generarle complejidad al mismo. Se realizó el modelo por partes para poder nombrar las secciones de los huesos. Tomando en consideración la estructura de los modelos, se tomó la decisión de usar el cráneo al ser el modelo con sus secciones más establecidas y de manera más visible.

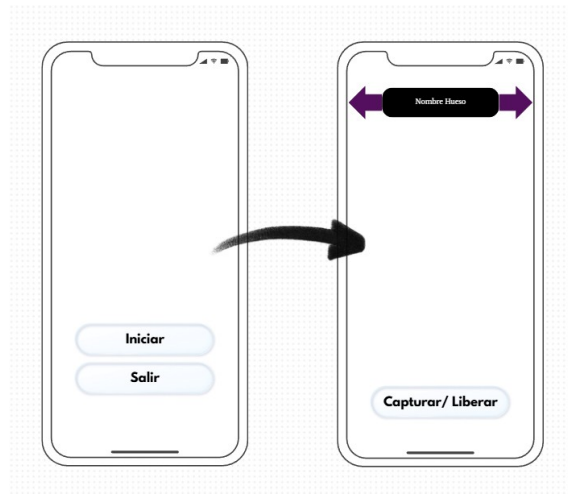


Figura 5.6: Wireframe de la aplicación

5.3.1. Visualización e iluminación de las partes del cráneo

Una de las funcionalidades principales del prototipo corresponde a la iluminación selectiva de las distintas partes del cráneo. Lo cual permite resaltar visualmente la sección anatómica seleccionada, facilitando su identificación y comprensión espacial.

Esta estrategia fue diseñada para apoyar el proceso de autoaprendizaje, permitiendo al estudiante reconocer con mayor claridad la ubicación y relación de cada estructura ósea.

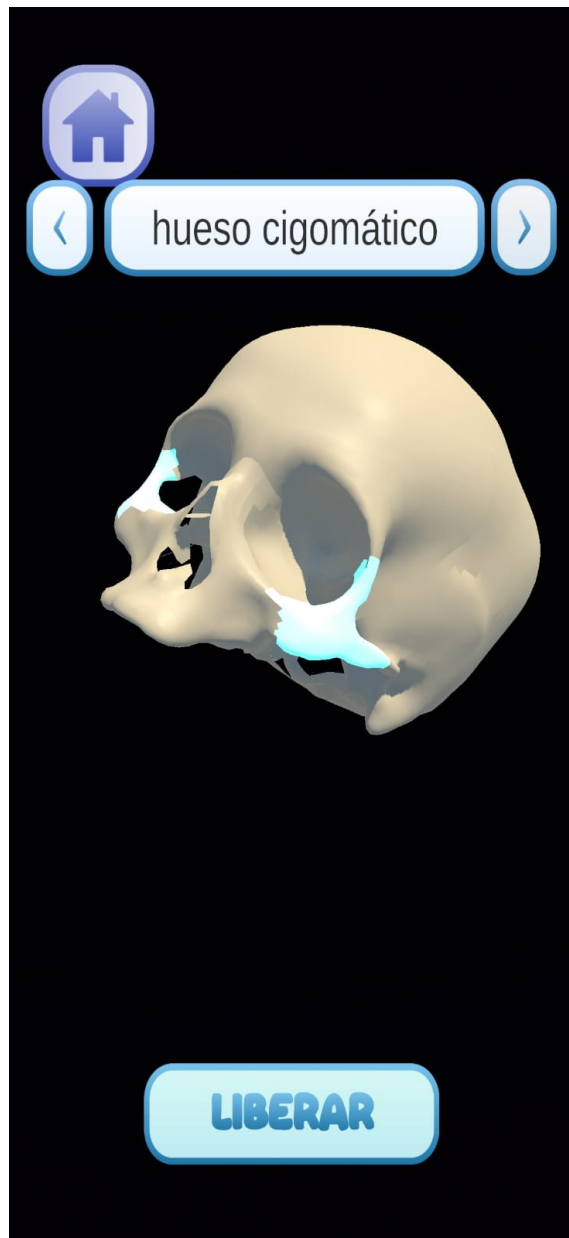


Figura 5.7: Visualización de secciones iluminadas

6. Diseño de prototipo

6.1. Diseño de Interfaz

Cuando se logro recibir una retroalimentación del profesor guía, se empezó con una mejora del diseño de la interfaz para que esta sea más amigable para el usuario. Esto buscando que la aplicación sea más intuitiva y óptima.

En cuanto a la identidad visual, se seleccionó el color cian como tono predominante, esto debido a su fuerte asociación con el sector salud. Asimismo, se rediseñó el fondo de la pantalla de inicio y el icono de la aplicación para que fueran coherentes con la visualización de los modelos 3D, unificando así la estética del producto.

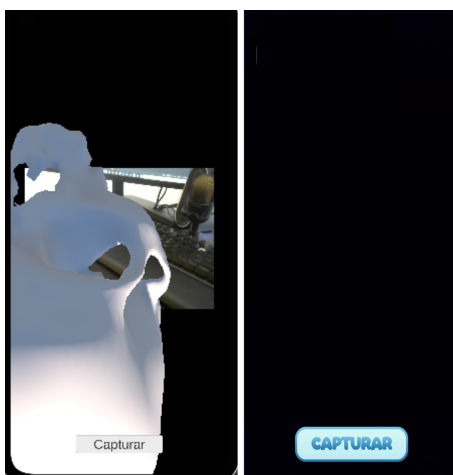


Figura 6.1: comparativa entre la antigua y nueva interfaz

6.2. Mejora de optimización y navegación

Posterior al diseño de interfaz, se recibió una retroalimentación con respecto al sistema de navegación entre pantalla de la aplicación. Ya que, esta no poseía una manera clara de navegar entre pantallas o la posibilidad clara de salir de la misma aplicación. Con esto en mente, se estableció una navegación intuitiva y clara para que el usuario. Estableciendo iconos familiares y estandarizados.

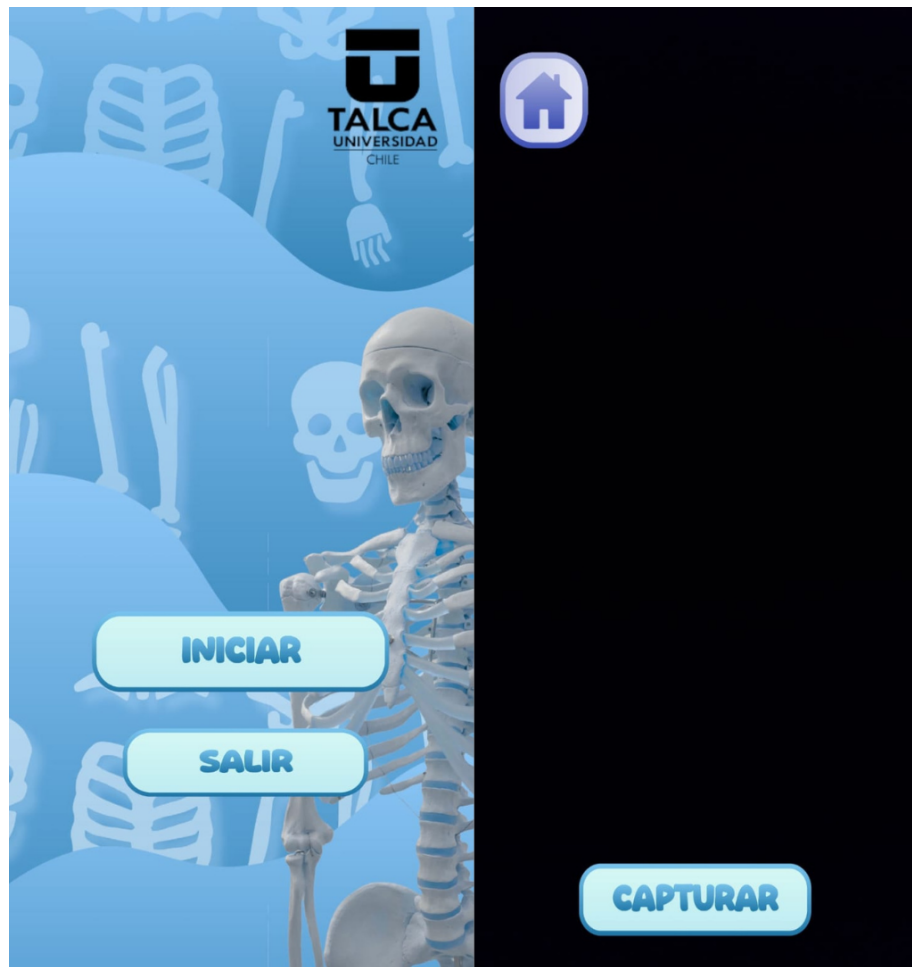


Figura 6.2: Implementación de botón de salir y botón de casa(regreso al inicio)

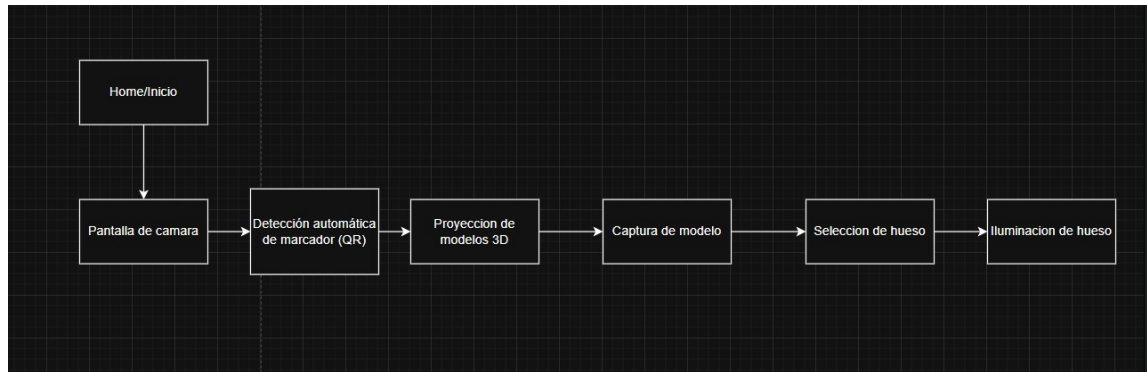


Figura 6.3: Diagrama de navegación

6.3. Programación de la aplicación

La aplicación fue desarrollada en el ambiente de Unity, utilizando el idioma de programación "C". La estructura de la aplicación fue desarrollada de manera modular. Permitiendo agregar modelos y futuras mejoras. Esta aplicación permite la detección de objetivos (QR), la instancia dinámica de modelos y la interacción táctil. A continuación, se describirán las funciones y componentes principales.

6.3.1. Clonación de modelos

La aplicación al ser utilizada no mantiene todos los modelos cargados simultáneamente para optimizar recursos. El script cloning que se detalla en el anexo 9.4.1, este permite la creación de una copia del modelo virtual que se está visualizando. Permitiendo de esta forma solo cargar 2 modelos.

Mediante la función "**CreateObject()**", el sistema identifica qué hueso ha sido detectado por la cámara y utiliza Instantiate para generar una copia (clon) del prefab correspondiente en el espacio tridimensional. Estos prefab son previamente guardados en una lista que se genera en este mismo script. Otra función importante de este script es que el usuario puede liberar el clon que se creó.

6.3.2. Control de visualización anatómica

Este componente es el más importante con respecto a la sección educativa de la aplicación. Ya que, nos permite una exploración guiada del modelo. El script

encargado de esto es HuesoManager9.4.2.

La principal función es la iluminación de secciones ("**IluminarParte(int index)**"). Esta se basa en cambiar el material de la sección del hueso que se desea conocer con un material brillante de color cian. Resaltando de est forma la estructura que se desea visualizar. Acompañado de esto la función "**ActualizarTexto()**" extrae el nombre técnico del modelo y lo muestra en un canvas mediante un Text-MeshPro La otra función importarte es de Navegación. Esta nos permite recorrer las estructuras anatómicas de forma lógica y ordenada.

6.3.3. Detección de marcadores

En este caso es la función principal de la realidad aumentada. La cual está realizada en base a Vuforia. Esto usando su base predispuesta.

Una de las principales funciones es VuforiaDebug. Una de las principales funciones es **OnTargetStatusChanged** para detectar cuándo un marcador entra en el campo de visión de la cámara. Esta función ademas nos permite que al detectar un modelo envía automáticamente el nombre del modelo al gestor de clonación.

6.3.4. Interacción Táctil y Gestual

Para que la experiencia sea intuitiva, se implementaron controles gestuales en el script TouchObjectControl 9.4.5.

Estas interacciones son movimientos para aumentar o disminuir el tamaño de los modelos, mediante el gesto de "pellizcar". Usando los dos dedos, calculando la distancia entre los toques para así aumentar o disminuir el tamaño del modelo. Otra función importante es la que nos permite girar el modelo en todas las direcciones posibles. Esto mediante el desplazamiento del dedo en la pantalla. De esta forma el usuario tiene la libertad de girar el modelo en 360 grados en los ejes X e Y.

7. Pruebas y resultados

7.1. Pruebas de usuario

Mediante la aplicación de este cuestionario, se realizaron múltiples pruebas con docentes del Departamento de Ciencias Biomédicas. El objetivo principal fue medir el rendimiento y la eficacia de la aplicación. Además, estas pruebas permitieron verificar el cumplimiento de la hipótesis planteada al inicio del proyecto.

El protocolo de prueba consistió en:

- Instalación asistida de la aplicación en un dispositivo móvil (Samsung A54 o similar).
- Ejecución de tareas guiadas: visualización del cráneo, identificación de zonas y manipulación gestual.
- Firma de consentimiento y utilización de la aplicación inmediata del cuestionario de evaluación post-experiencia.

Al finalizar el análisis de los datos se realizó excluyendo respuestas incompletas, resultando en un $N = 6$ participantes válidos para el análisis estadístico. Estos fueron docentes pertenecientes al departamento de ciencias Biomédicas y que cumplieran el perfil esperado 9.2.

7.2. Resultados

7.2.1. Análisis de Usabilidad (SUS)

El resultado más destacado de la evaluación corresponde al índice de usabilidad. Tras aplicar la fórmula de corrección estándar para el *System Usability Scale*, la

aplicación obtuvo un puntaje promedio de:

$$SUS_{score} = 88,75 \quad (7.1)$$

Según la escala de aceptación de **Bangor et al.** , un puntaje superior a 80 se considera Grado A. Esto indica que la aplicación posee una barrera de entrada mínima y que los usuarios se sintieron confiados y competentes al utilizarla sin necesidad de asistencia técnica externa. En terminos simples, la aplicacion posee una excelente usabilidad, con una curva de aprendizaje baja y una interacción intuitiva.

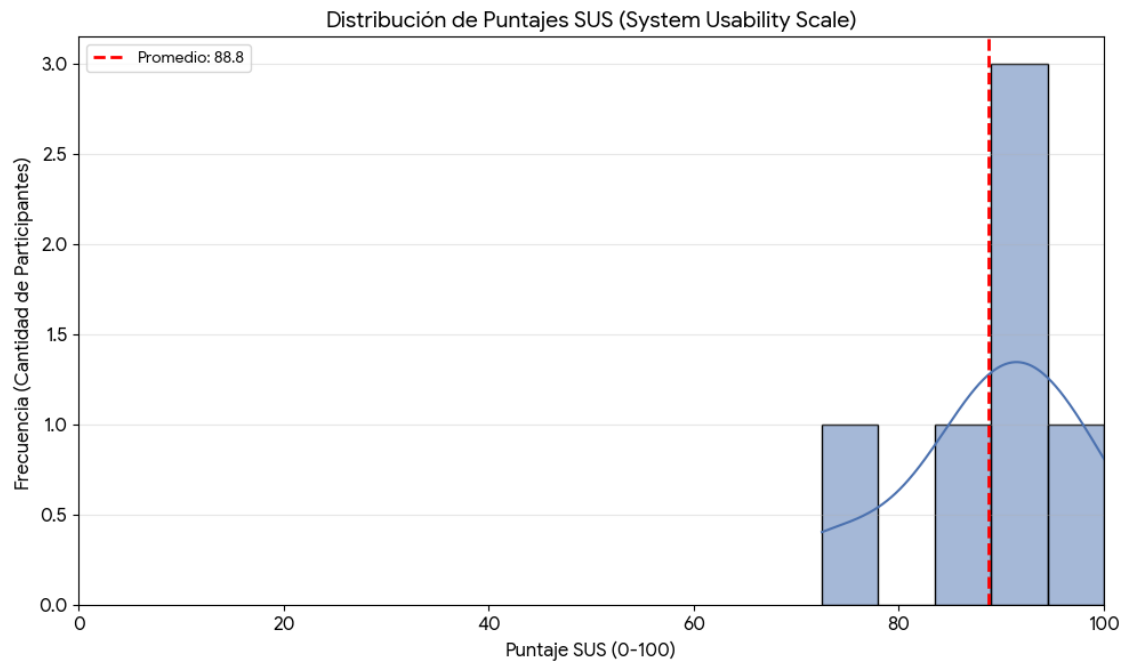


Figura 7.1: Gráfico de Distribución de puntajes SUS

7.2.2. Hallazgos Específicos

Al analizar los ítems individuales, se destacan los siguientes puntos:

- **Interfaz Intuitiva:** El 100 % de los encuestados calificó con el puntaje máximo (5.0) la afirmación "La interfaz gráfica es clara e intuitiva" "Los controles son fáciles de usar".

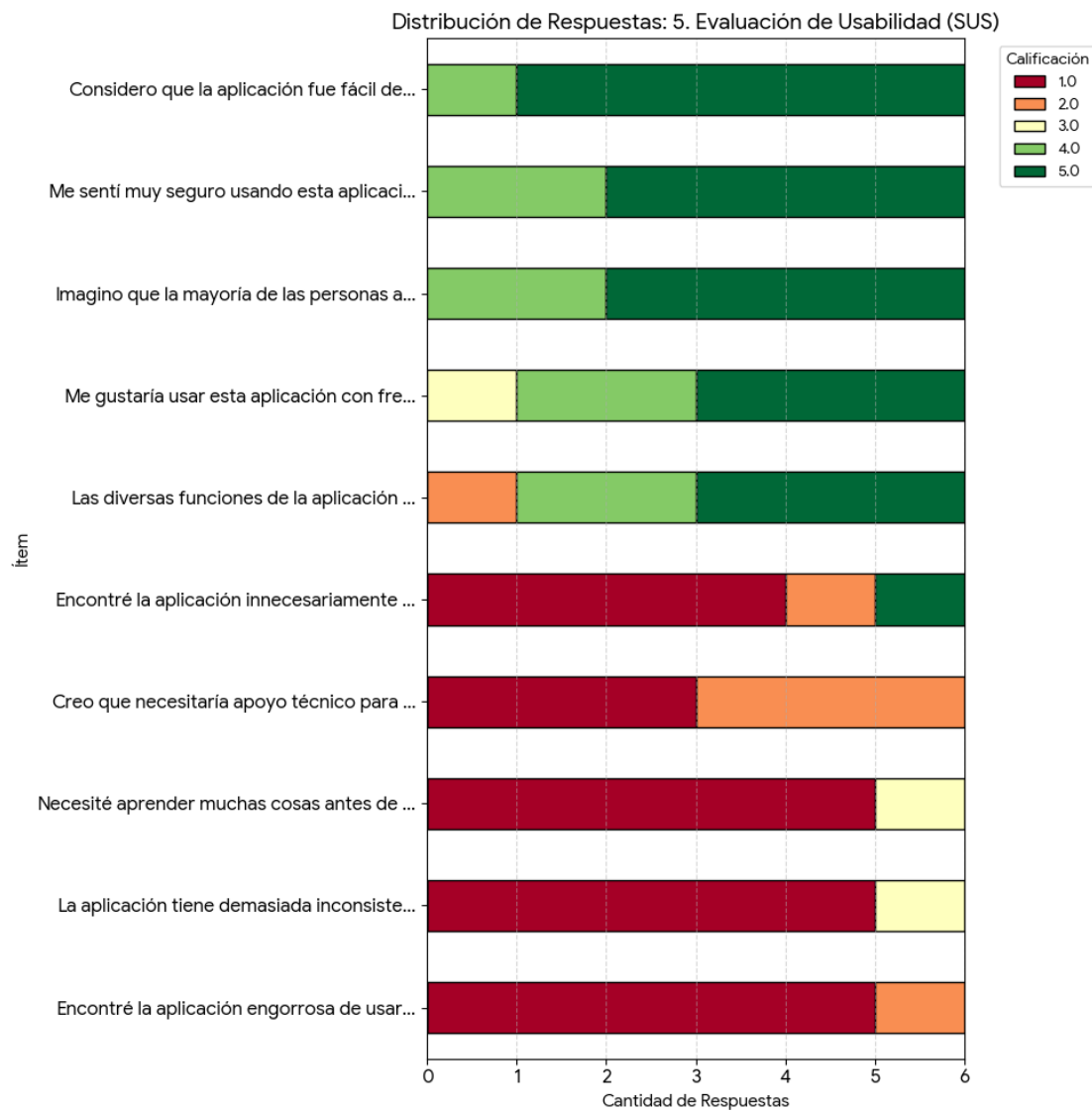


Figura 7.2: Respuestas de SUS

- **Seguridad y Confianza:** Los usuarios reportaron sentirse "muy seguros", utilizando la aplicación (Promedio 4.67).
- **Preferencia de Método:** Ante la afirmación de preferencia sobre el modelo físico, se obtuvo un puntaje moderado (3.33). Esto indica que la herramienta se percibe como un *complemento* eficaz, pero no como un reemplazo total del material biológico tradicional.

Resultados: Experiencia de uso

En este caso se buscaba medir la usabilidad, rendimiento y visualización de los modelos. En este caso los resultados de estos tres ítems medidos fueron los siguientes:



Figura 7.3: Resultados de la experiencia de uso

En el aspecto de usabilidad se logró establecer un promedio muy cercano a 5 por lo que ha sido calificado de una manera muy positiva. Demostrando de esta forma que la aplicación es intuitiva y fácil de utilizar.

En su contra parte la visualización es el ítem con peores resultados dando un promedio de "3.5". Este punto nos da a entender que el nivel de detalle o de calidad de los modelos no logra satisfacer a los expertos en su experiencia como usuarios.

El rendimiento por otra parte da un promedio de "4.5" demostrando que pese a que la aplicación funciona de una manera óptima, se puede realizar algunas mejoras futuras para generar un rendimiento y fluidez aun mayor.

Resultados: Utilidad en el aprendizaje

En esta sección del cuestionario se busca revisar y validar la utilidad de la aplicación en el aprendizaje. Con respecto a esto se presentaron los siguientes resultados:

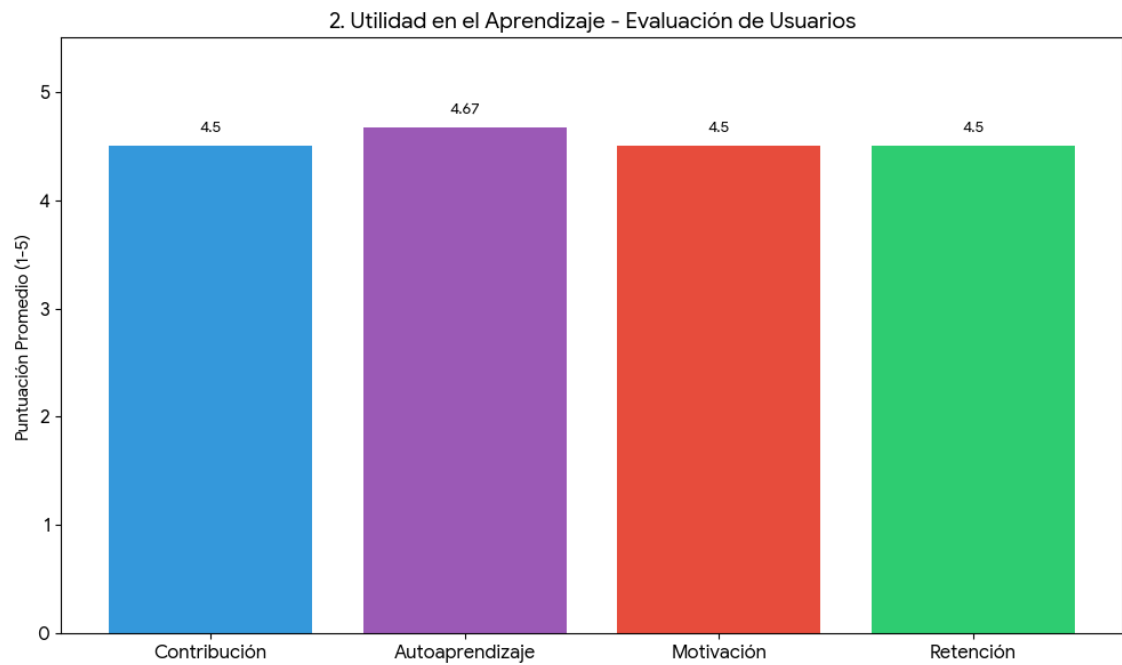


Figura 7.4: Resultados de la Utilidad en el aprendizaje

En la contribución se mostró un valor bastante alto mostrando un promedio de "4.5". Demostrando de esta forma que la aplicación potencia la comprensión del sistema oseo y de su aprendizaje con la aplicación como apoyo.

En el aspecto de autoaprendizaje se logro tener un promedio de "4.7". Mostrando que la aplicación potencia el autoaprendizaje de los estudiantes y potenciando así el uso de tecnologías como material de apoyo pedagógico.

Una ventaja positiva que nos refleja este ítem es la mejora significativa de la motivación que representa el uso de esta aplicación con respecto a los métodos convencionales o tradicionales (libros o similares).

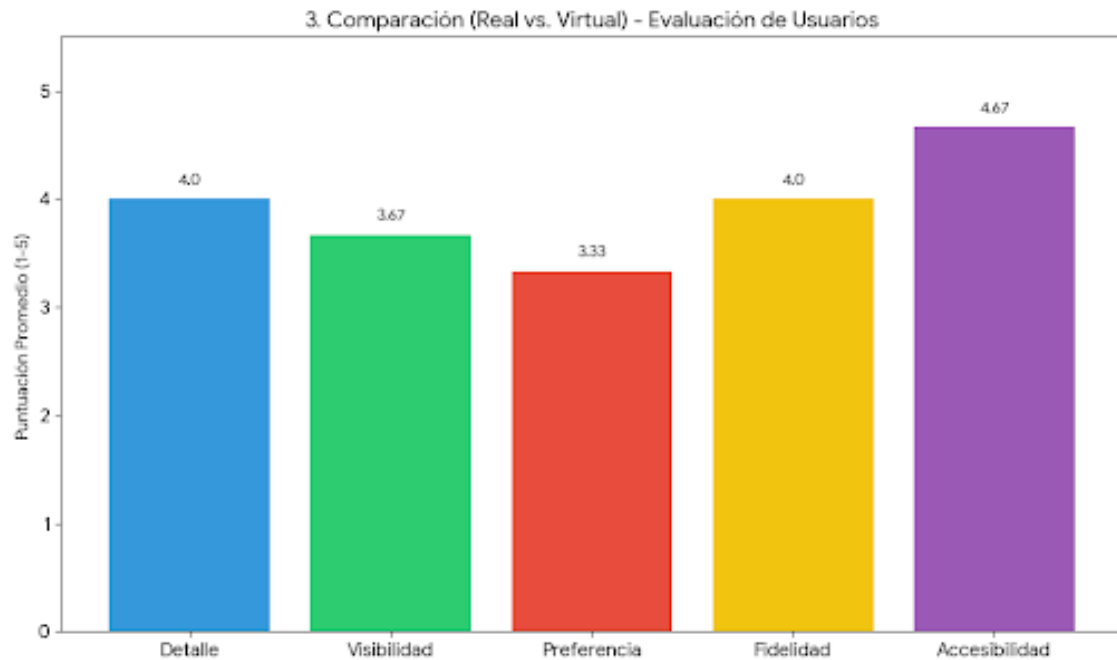
Resultados: Comparación entre modelo físico y virtual

Figura 7.5: Resultados de la comparación entre modelo físico y virtual

En este ítem el mayor fuerte destacado de la aplicación fue la accesibilidad, dando un promedio de "4.7". En este aspecto se valora la facilidad de usar la aplicación, en comparación a lo complejo que puede ser solicitar un modelo anatómico físico o conseguir los permisos de usar el laboratorio mismo.

Con respecto a la fidelidad visual se logro un promedio de "4.0" en el detalle y "4.0" en la fidelidad. Por lo que los modelos 3D fueron lo suficientemente precisos para que los expertos dieran estas evaluaciones con respecto a los modelos reales. No obstante en el ítem de ver estructuras difíciles este promedio bajo a un "3.7". Lo que da a entender que pese a que los modelos siguen una fidelidad con respecto a los modelos reales, ciertas zonas tienen que mejorar el detalle.

El ítem que presento el valor más bajo en este caso fue la preferencia. En este caso se logro descubrir que pese a que la aplicación sea útil como apoyo al aprendizaje, los expertos consideran que los modelos físicos tienen un valor táctil o educativo que la visualización no puede remplazar.

Resultados: Opinión general

Una de las preguntas más relevantes de esta sección fue:

”Considero que la aplicación tiene potencial para mejorar la enseñanza de anatomía en la Universidad.” En esta pregunta de gran relevancia para poder ver los resultados de la hipótesis planteada en esta tesis, se obtuvo un promedio de ”4,5”. Demostrando así la afirmación de que la investigación dio resultados positivos.

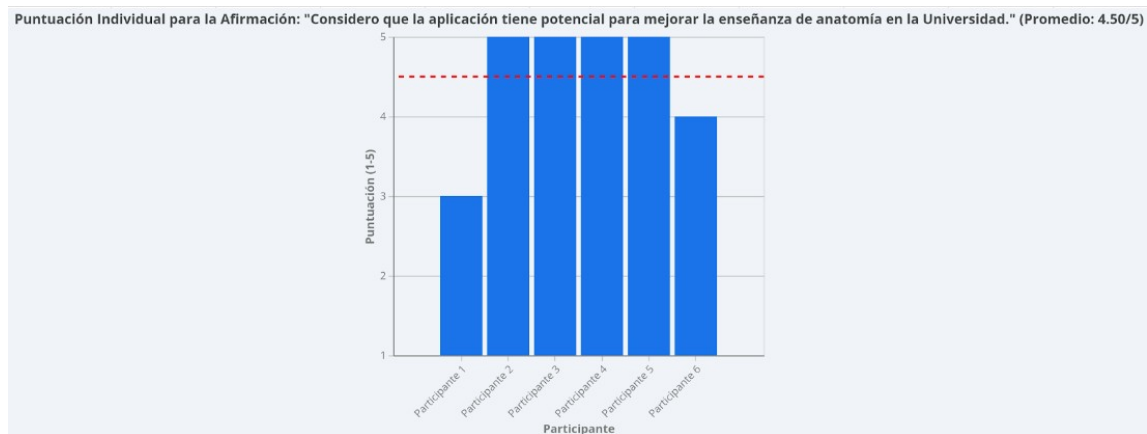


Figura 7.6: Resultados de la opinión general

La satisfacción General obtuvo la calificación más alta (4.67), indicando un alto grado de agrado por parte de los usuarios. La Recomendación es la afirmación con la calificación más baja (4.00), aunque sigue siendo una puntuación positiva. Esto podría indicar que, si bien están satisfechos, no es una aplicación que recomendarían al 100 %. Esto nos da a entender que quizás algunos factores podrían ser mejorados.

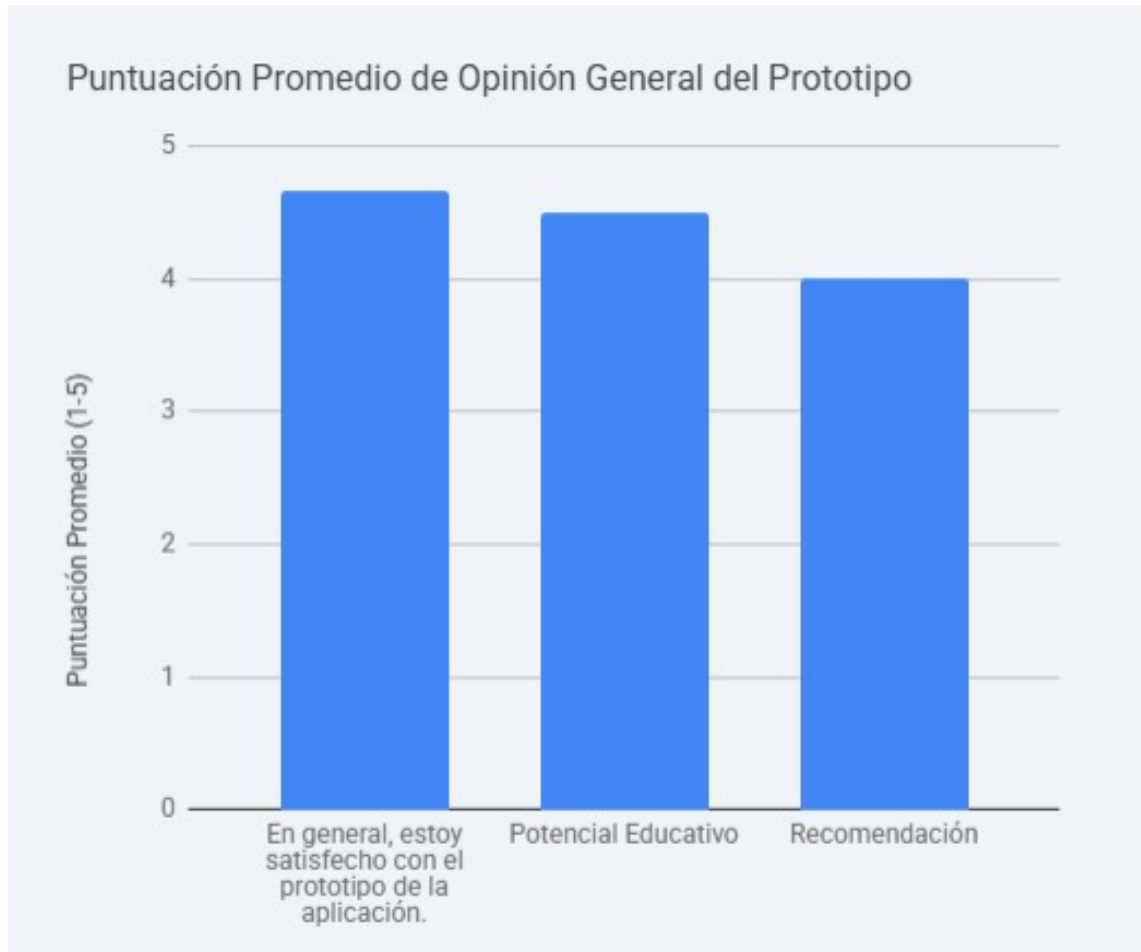


Figura 7.7: Diagrama general del ítem encuestado

7.3. Conclusiones de la Evaluación

Los datos recopilados validan la hipótesis de investigación en cuanto a la accesibilidad y facilidad de uso. La aplicación ha logrado reducir la complejidad tecnológica asociada a la realidad aumentada, permitiendo que los usuarios se enfoquen en el contenido anatómico. Sin embargo, los resultados de la dimensión de visualización evidencian la necesidad técnica de implementar modelos de mayor resolución en iteraciones futuras para igualar el detalle de los modelos físicos.



Figura 7.8: Toma de pruebas de usuario

7.4. Comentarios adicionales y mejoras futuras

Durante la toma de pruebas de usuario se identificaron diversas observaciones relevantes que permiten orientar futuras mejoras del prototipo desarrollado. En particular, se detectaron defectos en la segmentación del cráneo, así como errores en las nomenclaturas de algunas de estas partes, las cuales pueden afectar el aprendizaje de los conocimientos referidos a estos mismos.

8. Conclusiones

En esta memoria se tuvo como objetivo crear una aplicación educativa basada en realidad aumentada como apoyo al estudio de modelos anatómico, utilizando huesos reales pertenecientes al Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad de Talca. A partir del desarrollo del prototipo y de su posterior evaluación, se puede concluir que el objetivo general fue cumplido de manera satisfactoria.

Desde una perspectiva tecnológica, se logró implementar una aplicación funcional que integra modelos anatómicos 3D obtenidos mediante procesos de digitalización, limpieza y optimización, permitiendo su visualización e interacción en un entorno de realidad aumentada. Esta aplicación demuestra lo útil que es utilizar estas tecnologías como complemento para el estudio tradicional del material físico. Ofreciendo una alternativa digital accesible para el estudio autónomo.

Desde la perspectiva educativa, los resultados de la evaluación realizada por docentes del área de anatomía evidencian que la aplicación es percibida como una herramienta para apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje. La alta usabilidad obtenida nos da a entender que la aplicación puede ser utilizada sin requerir una capacitación previa, lo que favorece su utilización en contextos académicos y su uso fuera del horario de clases.

Con respecto a la hipótesis planteada, asimismo los resultados obtenidos respaldar que el uso de una aplicación educativa basada en realidad aumentada contribuye positivamente a la percepción de apoyo al aprendizaje y a la usabilidad del recurso educativo. Esto en comparación a las clases que solo utilizan el material anatómico físico tradicional.

Pese a los buenos resultados que se presentan en el estudio, una limitación corresponde al tamaño reducido de la muestra evaluada. Esto nos impide generalizar

los resultados obtenidos. Aun así, considerando el carácter de la investigación esto nos deja las bases validas para futuras investigaciones, desarrollos en el área y uso de nuevas tecnologías.

Bibliografía

- [1] 3d organon: Immersive anatomy learning, 2024. Sitio web oficial de 3D Organon, consultado el 19 de noviembre de 2024.
- [2] Biocloud3d, 2024. Sitio web oficial de BioCloud3D, consultado el 19 de noviembre de 2024.
- [3] Zygote body: Explore the human body in 3d, 2024. Sitio web oficial de Zygote Body, consultado el 19 de noviembre de 2024.
- [4] Biodigital: Interactive 3d anatomy platform, 2024. Sitio web oficial de BioDigital, consultado el 19 de noviembre de 2024.
- [5] 3d4medical: Anatomía humana en 3d, 2024. Sitio web oficial de 3D4Medical, consultado el 19 de noviembre de 2024.
- [6] Merge edu: Learn anatomy with ar and 3d models, 2024. Sitio web oficial de Merge EDU, consultado el 19 de noviembre de 2024.
- [7] Jigspace: Create and explore 3d presentations, 2024. Sitio web oficial de JigSpace, consultado el 19 de noviembre de 2024.
- [8] ¿qué es la programación extrema (xp)? - metodologías Ágiles.
- [9] Samy A. Azer and Norman Eizenberg. Do we need dissection in an integrated problem-based learning medical course? perceptions of first- and second-year students. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 29(2):173–180, 2007.
- [10] Vincenzo Papa and Marcello Vaccarezza. Teaching anatomy in the xxi century: new aspects and pitfalls. *TheScientificWorldJournal*, 2013:310348, 2013.

- [11] Juan Garzón, Kinshuk, S. Baldiris, J. Gutierrez, and J. Pavón. How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? a meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31:100334, 2020.
- [12] Donna R. Berryman. Augmented reality: A review. *Medical Reference Services Quarterly*, 31:212 – 218, 2012.
- [13] Anuj Thapliyal. Virtual reality versus augmented reality. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, 2023.
- [14] Kuo-Ting Huang, Christopher Ball, J. Francis, R. Ratan, J. Boumis, and Joseph A. Fordham. Augmented versus virtual reality in education: An exploratory study examining science knowledge retention when using augmented reality/virtual reality mobile applications. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 22:105 – 110, 2019.
- [15] C. Slamet, D. R. Ramdania, Hanny Hutaminingrum, F. M. Kaffah, D. Maylawati, and Ichsan Budiman. Natural feature tracking algorithm in augmented reality recognition of asmaul husna. *2023 9th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, pages 1–6, 2023.
- [16] Antonio Amores-Valencia, D. Burgos, and J. W. Branch-Bedoya. Influence of motivation and academic performance in the use of augmented reality in education. a systematic review. *Frontiers in Psychology*, 13, 2022.
- [17] N. Jeyaraman, M. Jeyaraman, S. Ramasubramanian, S. Balaji, and A. Nallakumarasamy. Visualizing medicine: The case for implementing graphical abstracts in clinical reporting. *World Journal of Methodology*, 15(2):95966, June 2025.
- [18] B. Chamberlain, Phillip Fernberg, David Evans, Scott Johnson, Charisse Spencer, Sarah H. Creem-Regehr, and Jeanine K. Stefanucci. Rapidly generating realistic virtual environment contexts. *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pages 212–215, 2022.
- [19] R. Salar, Faruk Arici, Şeyma Caliklar, and R. Yilmaz. A model for augmented reality immersion experiences of university students studying in science education. *Journal of Science Education and Technology*, 29:257–271, 2020.

- [20] Juan Garzón, J. Pavón, and S. Baldiris. Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual Reality*, 23:447–459, 2019.
- [21] Kimberly McBain, Rami Habid, George Laggis, A. Quaiattini, N. Ventura, and Geoffrey Noel. Scoping review: The use of augmented reality in clinical anatomical education and its assessment tools. *Anatomical Sciences Education*, 15:765 – 796, 2021.
- [22] Visible body: Plataforma interactiva de anatomía 3d, 2024. Sitio web oficial de Visible Body, consultado el 19 de noviembre de 2024.
- [23] André de Sá Braga Oliveira, Luciano P. Leonel, Edward R LaHood, Hana Hallak, Michael J. Link, J. Maleszewski, C. Pinheiro-Neto, Jonathan M. Morris, and M. Peris-Celda. Foundations and guidelines for high-quality three-dimensional models using photogrammetry: A technical note on the future of neuroanatomy education. *Anatomical Sciences Education*, 16:870 – 883, 2023.
- [24] T. Luhmann. Close range photogrammetry for industrial applications. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65:558–569, 2010.
- [25] James J. Cummings and J. Bailenson. How immersive is enough? a meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media Psychology*, 19:272 – 309, 2016.
- [26] Dr. B. Hari Chandana, Nazeer Shaik, and Dr. P. Chitralingappa. Exploring the frontiers of user experience design: Vr, ar, and the future of interaction. *2023 International Conference on Computer Science and Emerging Technologies (CSET)*, pages 1–6, 2023.
- [27] Kerem A. Bölek, G. de Jong, and D. Henssen. The effectiveness of the use of augmented reality in anatomy education: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 11, 2021.
- [28] A. Islam and A. Ferworn. A comparison between agile and traditional software development methodologies. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 2020.
- [29] A. Fruhling and G. Vreede. Field experiences with extreme programming: Developing an emergency response system. *Journal of Management Information Systems*, 22:39 – 68, 2006.

- [30] Kent Beck. *Extreme Programming Explained: Embrace Change*. Addison-Wesley, 2000.
- [31] Anchit Shrivastava, Isha Jaggi, Nandita Katoch, D. Gupta, and Sheifali Gupta. A systematic review on extreme programming. *Journal of Physics: Conference Series*, 1969, 2021.
- [32] J. Karn, Joseph J. Ninan, and M. Gheorghe. Team-client relationships and extreme programming. *Human technology : an interdisciplinary journal on humans in ICT environments*, 4:186–208, 2008.
- [33] J. Brooke. Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194):4–7, 1996.

9. ANEXOS

9.1. Desarrollo de modelos 3D

9.1.1. Intento 1 de mejora de imperfecciones

Desarrollo

El primer paso consistió en la importación de los modelos a la aplicación *Meshmixer*, lo que permitió la corrección de imperfecciones simples, como agujeros o zonas faltantes en la malla. Las herramientas de la aplicación facilitaron el relleno de estos vacíos sin comprometer la integridad general del modelo original.

No obstante, se identificó como principal limitación la imposibilidad de rellenar agujeros de gran tamaño, ya que, al intentar hacerlo, el programa presentaba fallos o cierres inesperados.

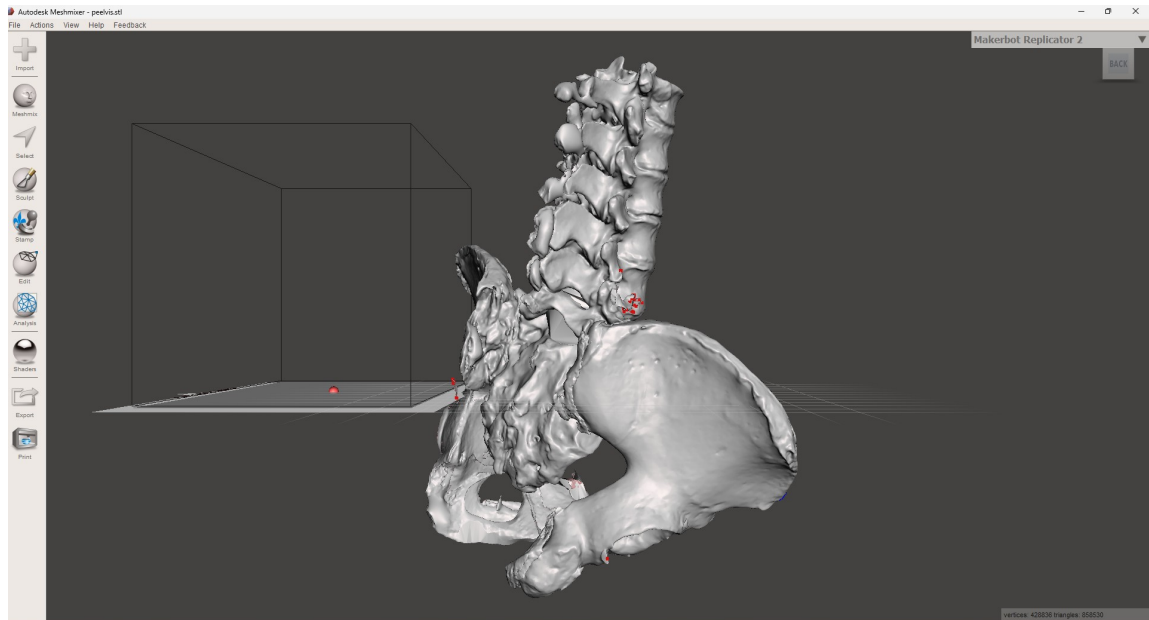


Figura 9.1: Relleno de agujeros en los modelos

Posteriormente, los modelos fueron trasladados a la aplicación de modelado 3D *3DS Max*, con el objetivo de eliminar segmentos erróneos o duplicados generados durante el proceso de escaneo. Si bien los agujeros pequeños fueron corregidos exitosamente, persistían diversas imperfecciones en la malla.

Para abordar estas problemáticas, se aplicaron técnicas de optimización y simplificación de polígonos mediante las herramientas *ProOptimizer* y *Retopology*, lo que permitió mejorar la topología y controlar el número de polígonos del modelo.

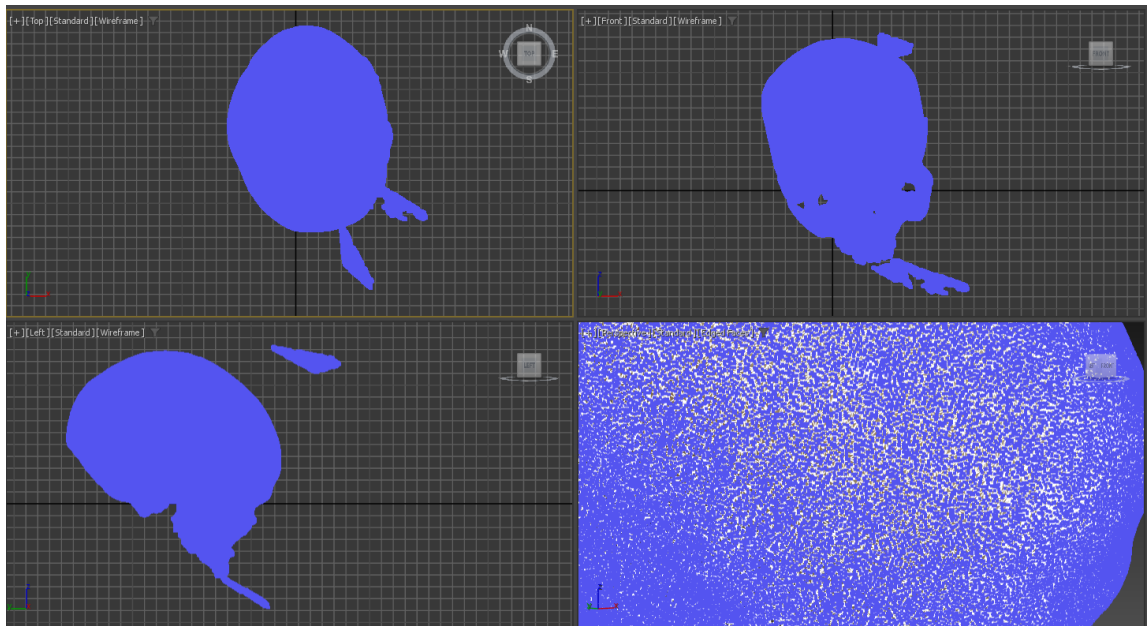


Figura 9.2: Modelo con elevado número de vértices

Una vez alcanzada una versión más depurada, se realizaron retoques finales, obteniendo una malla clara y definida que sirvió como base para evaluar posibles mejoras futuras.

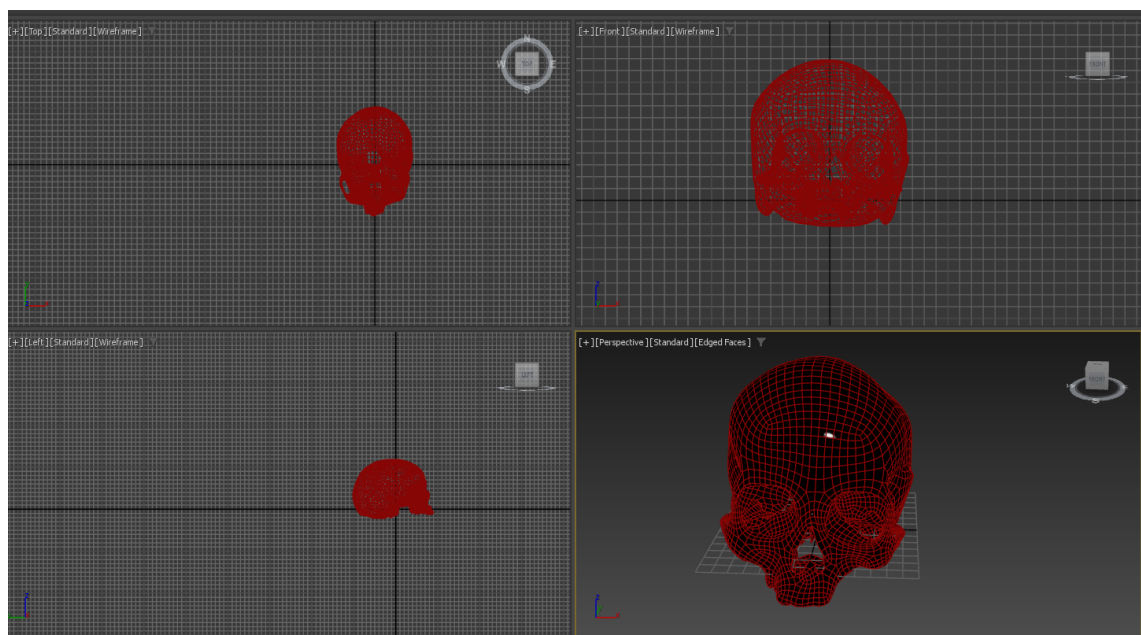


Figura 9.3: Modelo de cráneo con malla optimizada

Problemática

Durante el tratamiento de distintos modelos se observó que no todos podían ser procesados de la misma manera, debido a la presencia de imperfecciones significativas. En algunos casos, estas imperfecciones generaban agujeros de gran tamaño o superposiciones que comprometían la fidelidad respecto al hueso original.

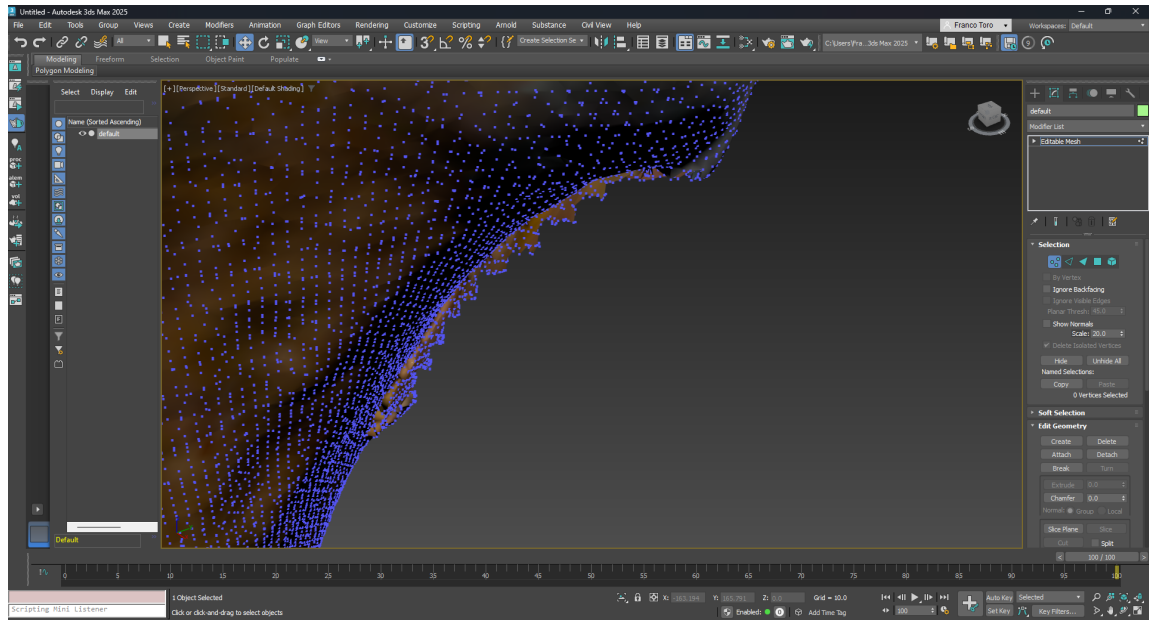


Figura 9.4: Limpieza de imperfecciones superpuestas al modelo original

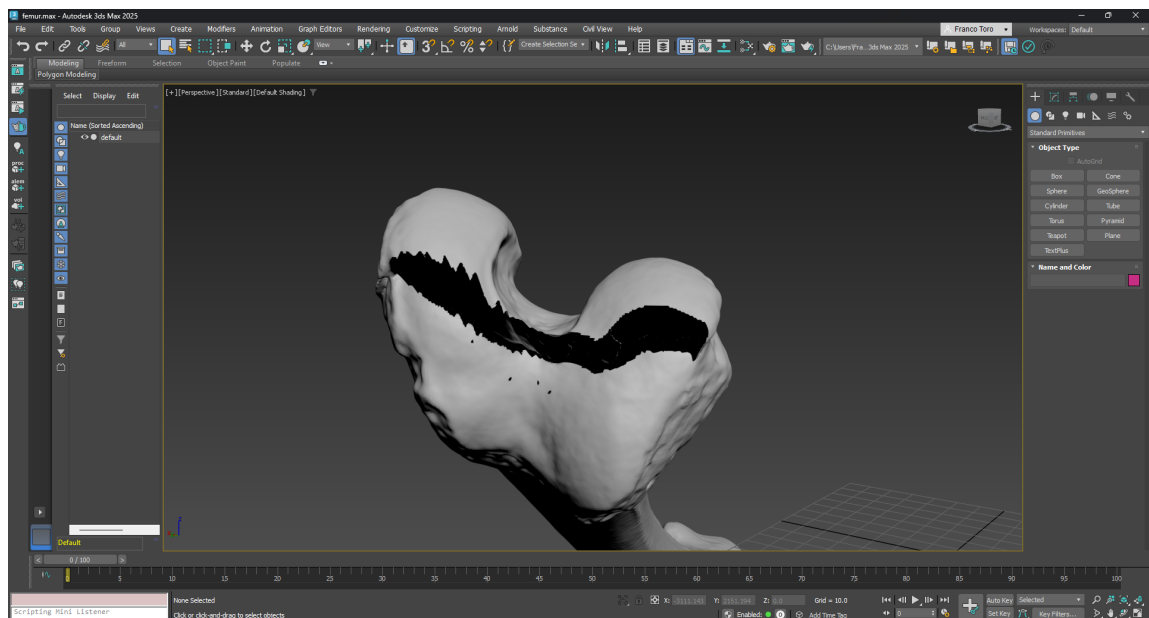


Figura 9.5: Agujeros generados tras la eliminación de imperfecciones

Decisión tomada

Considerando las problemáticas identificadas, se decidió explorar nuevas estrategias para la retopología y el tratamiento de imperfecciones, con el fin de obtener modelos más claros y fieles a las estructuras originales.

9.1.2. Intento 2 de mejora de imperfecciones

Desarrollo

A partir de los modelos previamente limpiados, se propuso una nueva solución basada en la reconstrucción de los modelos a partir de los escaneos originales. Para ello, se utilizó el modificador *Conform* de *3DS Max*, el cual permite proyectar la geometría de un objeto sobre otro siguiendo su forma.

Durante este proceso se determinó que la creación de un único objeto no resultaba óptima, por lo que se optó por construir múltiples subobjetos basados en la geometría del modelo escaneado. Cada uno fue modificado mediante *Conform*, logrando así un modelo simplificado, con menor cantidad de vértices y una mayor fidelidad geométrica.

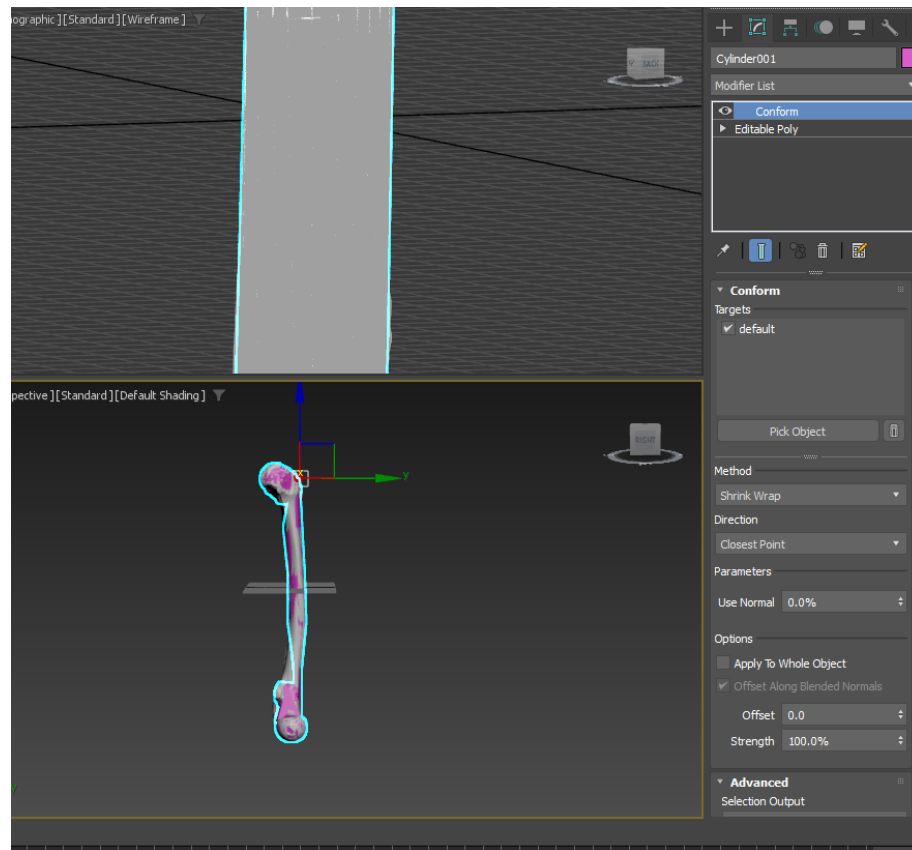


Figura 9.6: Modelo recreado mediante el modificador Conform

Problemática

A medida que avanzó este enfoque, se identificó un problema en la malla interna: si bien el modificador unía visualmente los objetos, no consolidaba adecuadamente las mallas, generando superposiciones y hundimientos en la estructura. Estas imperfecciones provocaban errores al aplicar materiales y afectaban el uso práctico del prototipo.

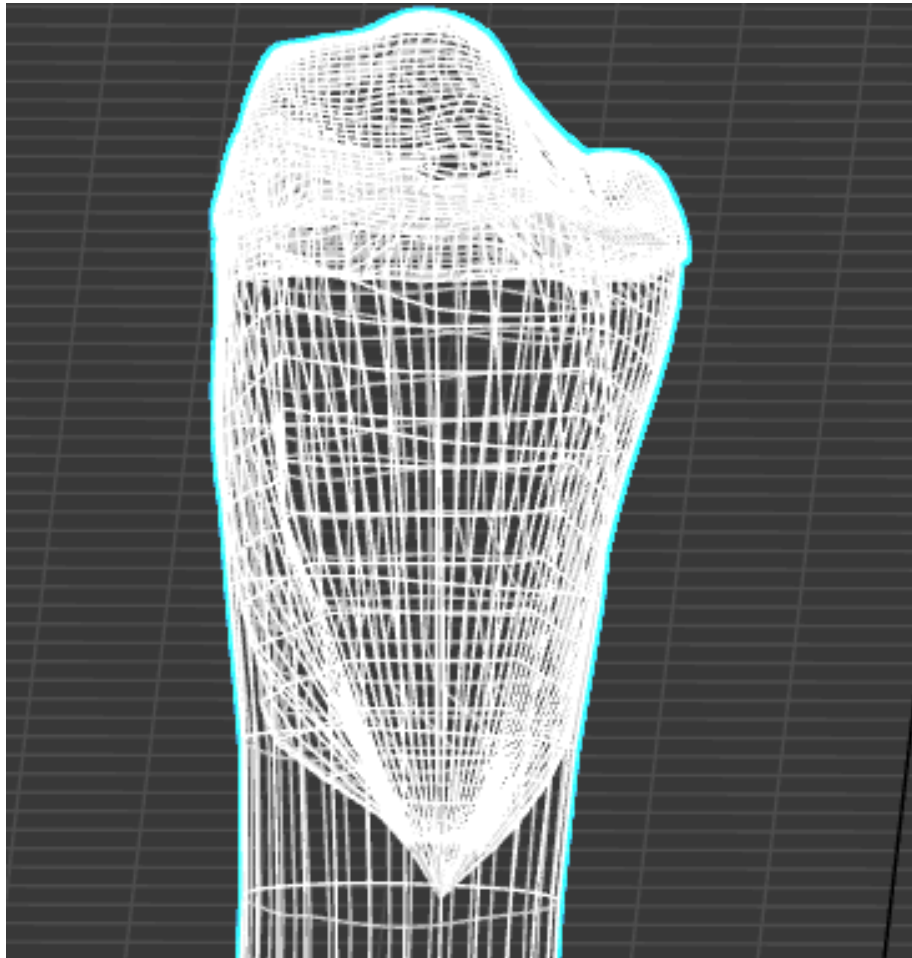


Figura 9.7: Visualización de la malla interna del modelo

Decisión tomada

Debido a que las imperfecciones internas comprometían la funcionalidad del prototipo, esta solución fue descartada, priorizando la obtención de un modelo fluido y funcional para el usuario final.

9.1.3. Intento 3 de mejora de imperfecciones

Desarrollo

Para este tercer intento se recurrió a la asesoría de un modelador 3D especializado, quien recomendó el uso de la aplicación *Bambu Studio*, comúnmente utilizada en procesos de impresión 3D. Esta herramienta permitió corregir de forma eficiente los

agujeros presentes en los modelos y reducir significativamente el número de vértices, facilitando su manipulación posterior.

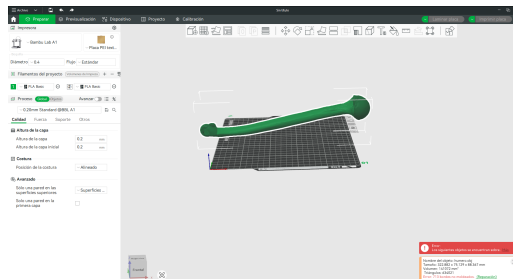


Figura 9.8: Reparación de agujeros en el modelo

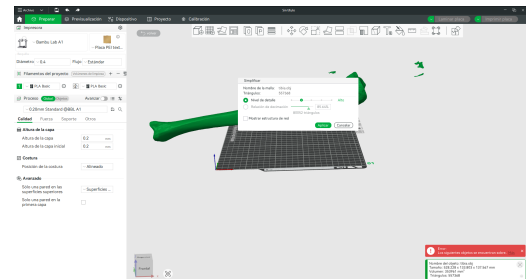


Figura 9.9: Reducción del número de vértices

Posteriormente, el modelo fue importado en *Blender* para la eliminación de imperfecciones remanentes y superficies con interrupciones. Mediante el modo de escultura, estas correcciones resultaron más eficientes que la edición vértice por vértice en *3DS Max*.

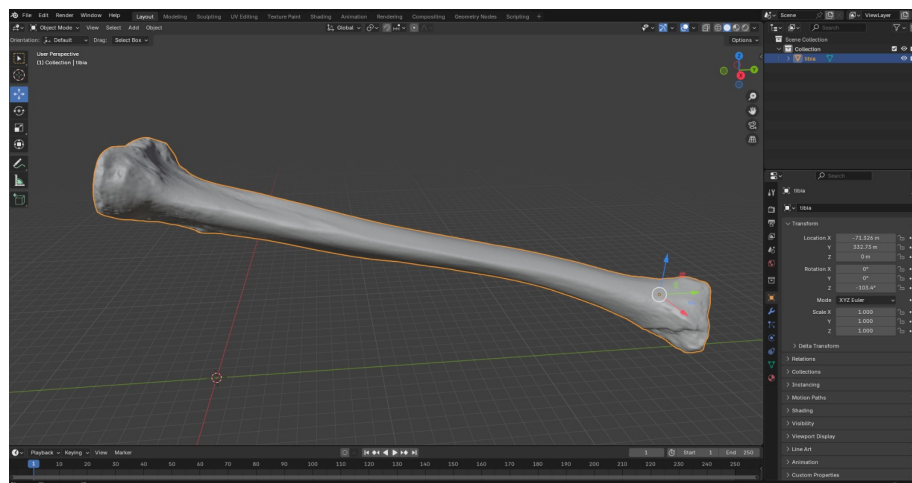


Figura 9.10: Mejora del modelo mediante herramientas de escultura en Blender

9.2. Perfil de expertos a los que se les aplicó la encuesta

En esta sección se presentan los perfiles de los expertos que participaron en las pruebas de usuario.

■ Ignacio Javier Roa Henríquez

- Título profesional: Cirujano dentista.
- Cargo: Profesor tutor de práctica.
- Área de desempeño: Histología y Embriología.

■ Elisa J. Marinkovic González

- Título profesional: Cirujano dentista.
- Cargo: Profesora conferenciante.
- Área de desempeño: Anatomía.

■ Wilson Eduardo Reina González

- Título profesional: Cirujano dentista.
- Cargo: Profesor de práctica, Unidad de Fisiología.
- Área de desempeño: Anatomía.

■ Bernarda López Farías

- Título profesional: Cirujano dentista.
- Cargo: Académica conferenciante del Departamento de Ciencias Básicas Biomédicas.
- Área de desempeño: Anatomía.

■ Matías Palomino M.

- Título profesional: Kinesiólogo.
- Cargo: Profesor tutor de práctica.
- Área de desempeño: Anatomía.

■ Paola Gajardo

- Título profesional: Matrona.
- Cargo: Profesora conferenciante.
- Área de desempeño: Anatomía.

9.3. Carta Gantt del proyecto

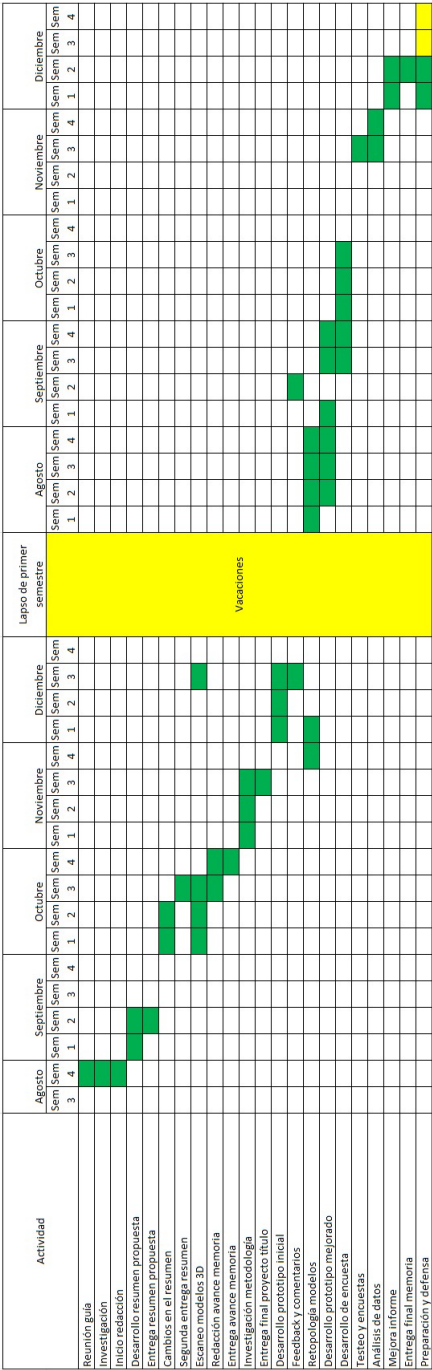


Figura 9.11: Carta Gantt

9.4. Scripts de Unity

9.4.1. Clonación de modelos 3D

```
1
2 using System.Collections;
3 using System.Collections.Generic;
4 using UnityEngine;
5
6 public class cloning : MonoBehaviour
7 {
8     public string info;           // El nombre del
9     public GameObject clonate;    // El punto donde
10    public GameObject[] prefab;    // Lista de prefabs
11    //private GameObject clon;      // El objeto
12    //instanciado actual
13
14    public HuesoManager hmanager;
15
16    public void CreateObject()
17    {
18        if (string.IsNullOrEmpty(info))
19        {
20            Debug.LogWarning("info vacío. No se puede
21            instanciar.");
22            return;
23        }
24
25        for (int i = 0; i < prefab.Length; i++)
26        {
27            if (prefab[i] != null && prefab[i].name == info)
28            {
29                AssignObj(i);
30                return;
31            }
32        }
33    }
34}
```

```
29         }
30     }
31
32     Debug.LogError($"No se encontro un prefab con el
33     nombre '{info}'.");
34 }
35
36 public void AssignObj(int i)
37 {
38     if (hmanager.clon != null)
39     {
40         Debug.Log("Ya hay un objeto clonado");
41         return;
42     }
43
44     if (prefab[i] == null)
45     {
46         Debug.LogError($"El prefab en la posici n {i} es
47         null.");
48         return;
49     }
50
51     hmanager.clon = Instantiate(prefab[i], clonate.
52         transform.position, clonate.transform.rotation);
53     hmanager.clon.transform.localScale = Vector3.one;
54     hmanager.clon.transform.SetParent(clonate.transform,
55         true);
56
57     hmanager.partes2 = hmanager.clon.GetComponent<
58         PartesDeHueso>().partes;
59
60     hmanager.ApagarTodos();
61
62     Debug.Log($"Se instancio '{manager.clon.name}'
63     correctamente.");
```

```
59     }
60
61     public void Liberar()
62     {
63         if (hmanager.clon != null)
64         {
65             Destroy(hmanager.clon);
66             hmanager.clon = null;
67             Debug.Log("Objeto_liberado.");
68         }
69         else
70         {
71             Debug.LogWarning("No_hay_objeto.");
72         }
73     }
74 }
```

Listing 9.1: Script de interacción en Unity

9.4.2. Hueso Manager

```
1 using UnityEngine;
2 using System.Collections;
3 using System.Collections.Generic;
4 using TMPro;
5 using UnityEngine;
6
7 public class HuesoManager : MonoBehaviour
8 {
9     public TextMeshProUGUI texto_parte;
10    public GameObject[] partesDelCraneo; // Asigna aquí los
        huesos en orden
11    public Material matNormal;
12    public Material matIluminado;
13
14    public GameObject clon;
```

```
15     public GameObject[] partes2;
16
17     private int indiceActual = 0;
18
19     void Start()
20     {
21         if (partes2!=null && clon!=null)
22         {
23             ApagarTodos();
24             IluminarParte(indiceActual);
25         }
26     }
27
28     public void SiguienteParte()
29     {
30         ApagarTodos();
31         //indiceActual = (indiceActual + 1) % partesDelCraneo.
           Length;
32         indiceActual = (indiceActual + 1) % partes2.Length;
33         IluminarParte(indiceActual);
34     }
35
36     public void ParteAnterior()
37     {
38         ApagarTodos();
39         //indiceActual = (indiceActual - 1 + partesDelCraneo.
           Length) % partesDelCraneo.Length;
40         indiceActual = (indiceActual - 1 + partes2.Length) %
           partes2.Length;
41         IluminarParte(indiceActual);
42     }
43
44     public void SeleccionarPorIndice(int index)
45     {
46         //if (index >= 0 && index < partesDelCraneo.Length)
47         if (index >= 0 && index < partes2.Length)
```

```
48         {
49             ApagarTodos();
50             indiceActual = index;
51             IluminarParte(indiceActual);
52         }
53     }
54
55     private void IluminarParte(int index)
56     {
57         //Renderer rend = partesDelCraneo[index].GetComponent<
58             Renderer>();
59         Renderer rend = partes2[index].GetComponent<Renderer
60             >();
61         rend.sharedMaterial = matIluminado;
62         ActualizarTexto(index);
63     }
64     void ActualizarTexto(int index)
65     {
66         if (index != 0)
67         {
68             //texto_parte.text = "" + partesDelCraneo[index].
69                 name;
70             texto_parte.text = "" + partes2[index].name;
71         }
72         else
73         {
74             texto_parte.text = "";
75         }
76     }
77
78     public void ApagarTodos()
79     {
80         //foreach (var parte in partesDelCraneo)
81         foreach (var parte in partes2)
82         {
```

```
81         Renderer rend = parte.GetComponent<Renderer>();
82         rend.sharedMaterial = matNormal;
83     }
84 }
85 }
```

Listing 9.2: Script de interacción en Unity

9.4.3. Mostrar Nombre modelos

```
1
2 using System.Collections;
3 using System.Collections.Generic;
4 using UnityEngine;
5 using TMPro;
6
7 public class MostrarNombreZonaTouch : MonoBehaviour
8 {
9     public TextMeshProUGUI textoUI; // Asigna el TextMeshPro
10    en el inspector
11
12    void Update()
13    {
14        // Solo ejecuta si hay un toque
15        if (Input.touchCount > 0 && Input.GetTouch(0).phase ==
16            TouchPhase.Began)
17        {
18            Vector2 touchPosition = Input.GetTouch(0).position
19                ;
20
21            Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay(
22                touchPosition);
23            RaycastHit hit;
24
25            if (Physics.Raycast(ray, out hit))
26            {
27
28            }
29        }
30    }
31 }
```

```
23         // Intenta obtener el script con el nombre de
           zona
24         ZonaAnatomica zona = hit.collider.GetComponent
           <ZonaAnatomica>();
25
26         if (zona != null)
27         {
28             textoUI.text = zona.nombreZona;
29             CancelInvoke(nameof(BorrarTexto));
30             Invoke(nameof(BorrarTexto), 2f); //
               Ocultar luego de 2 segundos
31         }
32     }
33 }
34
35
36 void BorrarTexto()
37 {
38     textoUI.text = "";
39 }
40 }
```

Listing 9.3: Script de interacción en Unity

9.4.4. Detección de objeto observado(QR)

```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using Vuforia;
5
6 public class ObjectRecognition : MonoBehaviour
7 {
8     private void Start()
9     {
10         var trackable = GetComponent<ObserverBehaviour>();
```

```
11         if (trackable != null)
12         {
13             trackable.OnTargetStatusChanged +=
14                 OnTargetStatusChanged;
15         }
16     }
17     private void OnTargetStatusChanged(ObserverBehaviour
18         behaviour, TargetStatus status)
19     {
20         if (status.Status == Status.TRACKED || status.Status
21             == Status.EXTENDED_TRACKED)
22         {
23             Debug.Log("Objeto detectado: " + behaviour.
24                 TargetName);
25         }
26     }
27 }
```

Listing 9.4: Script de interacción en Unity

9.4.5. Interacciones con modelo clonado

```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class TouchObjectControl : MonoBehaviour
6 {
7     private Vector2 touchStartPos;
8     private Vector3 initialScale;
9     private float initialDistance;
10
11     void Update()
12     {
```

```
13         if (Input.touchCount == 2)//escalado
14     {
15         Touch touch1 = Input.GetTouch(0);
16         Touch touch2 = Input.GetTouch(1);
17
18         if (touch1.phase == TouchPhase.Began || touch2.
19             phase == TouchPhase.Began)
20     {
21         initialDistance = Vector2.Distance(touch1.
22             position, touch2.position);
23         initialScale = transform.localScale;
24     }
25     else if (touch1.phase == TouchPhase.Moved &&
26         touch2.phase == TouchPhase.Moved)
27     {
28         float currentDistance = Vector2.Distance(
29             touch1.position, touch2.position);
30         float scaleFactor = currentDistance /
31             initialDistance;
32         transform.localScale = initialScale *
33             scaleFactor;
34     }
35     }
36     else if (Input.touchCount == 1)//rotacion del objeto
37     {
38         Touch touch = Input.GetTouch(0);
39         if (touch.phase == TouchPhase.Moved)
40     {
41         float rotationX = touch.deltaPosition.y * 0.5f
42             ;
43         float rotationY = -touch.deltaPosition.x * 0.5
44             f;
45         transform.Rotate(Vector3.right, rotationX,
46             Space.World);
47         transform.Rotate(Vector3.up, rotationY, Space.
48             World);
```

```
39         }
40     }
41 }
42 }
```

Listing 9.5: Script de interacción en Unity

9.4.6. Detección y principales interacciones con Vuforia

```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.Linq;
4 using UnityEngine;
5 using Vuforia;
6
7 public class VuforiaDebug : MonoBehaviour
8 {
9     public string nameObject;
10    public cloning cloningManager;
11    private void Start()
12    {
13        cloningManager = FindObjectsByType<cloning>(
14            FindObjectsSortMode.None).FirstOrDefault();
15        var trackable = GetComponent<ObserverBehaviour>();
16        if (trackable != null)
17        {
18            trackable.OnTargetStatusChanged +=
19                OnTargetStatusChanged;
20        }
21
22    private void OnTargetStatusChanged(ObserverBehaviour
23        behaviour, TargetStatus status)
24    {
25        if (status.Status == Status.TRACKED || status.Status
26            == Status.EXTENDED_TRACKED)
```

```
24     {
25         Debug.Log("+Objeto detectado:" + behaviour.
26             gameObject.name);
27         //nameObject = behaviour.gameObject.name;
28         cloningManager.info = behaviour.gameObject.name;
29     }
30
31 }
32 }
```

Listing 9.6: Script de interacción en Unity