

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Software

COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN EN LA CREACIÓN DE MODELOS 3D DE CABEZAS HUMANAS MEDIANTE APLICACIONES EXISTENTES EN PLAY STORE PARA APLICACIONES EN REALIDAD AUMENTADA

Trabajo de grado previo a la obtención del título de
Ingeniero de Software presentado ante la ilustre
Universidad Técnica del Norte

Autor:

Theo Fernando Chilingua Taipe

Director:

MSc. Carpio Agapito Pineda Manosalvas

Ibarra – Ecuador

2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	1722258694		
APELLIDOS Y NOMBRES	CHILQUINGA TAPE THEO FERNANDO		
DIRECCIÓN	IBARRA – LA VICTORIA		
EMAIL	tfchilquingat@utn.edu.ec / theochilquinga10@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0969096487

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN EN LA CREACIÓN DE MODELOS 3D DE CABEZAS HUMANAS MEDIANTE APLICACIONES EXISTENTES EN PLAY STORE PARA APLICACIONES EN REALIDAD AUMENTADA.
AUTOR(ES):	CHILQUINGA TAPE THEO FERNANDO
FECHA:	21/05/2025
PROGRAMA	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN SOFTWARE
DIRECTOR:	MSc. CARPIO PINEDA Ing.
ASESOR 1:	MSc. FAUSTO SALAZAR Ing.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de mayo de 2025.

EL AUTOR:



Nombre: Theo Fernando Chilibingua Taipe
1722258694

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 21 de mayo de 2025

MSc. Carpio Agapito Pineda Manosalvas

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte: en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



MSc. Carpio Agapito Pineda Manosalvas

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación es un tributo a las personas más importantes en mi vida, aquellas cuyo amor, apoyo y confianza inquebrantable han sido el motor que me impulsó a alcanzar esta meta.

A mi madre, Sara Taipe, y a mi abuelita, María Elena Ortiz, por su amor incondicional y su constante respaldo. Su fortaleza, sacrificio y fe en mis capacidades han sido mi mayor fuente de inspiración. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, por estar siempre a mi lado y por brindarme las oportunidades que hoy hacen posible este logro. Este éxito es también suyo, pues es el reflejo de sus enseñanzas y dedicación.

A Dios, por concederme la fuerza, la sabiduría y las oportunidades necesarias para recorrer este camino y culminarlo con éxito.

A mis hermanos, sobrino y familiares cercanos, quienes han sido mi refugio y mi ejemplo a seguir. Su apoyo incondicional y confianza en mí han sido fundamentales a lo largo de este proceso. Cada uno de ustedes ocupa un lugar especial en este logro, y les agradezco por ser un pilar en mi vida.

A mis amigos, aquellos que el destino puso en mi camino y que hoy son parte esencial de mi vida, sin importar la distancia. Un agradecimiento especial a Vinicio y Sarita, cuya presencia ha sido invaluable, y a mis compañeros de incontables momentos: Edwin, Kevin, Carlos, Oliver y Henry. Su amistad, consejos y palabras de aliento fueron fundamentales en este recorrido académico. Valoro profundamente su compañía y el impacto positivo que han tenido en mi vida.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este proyecto. En especial, a mi tutor y asesor de tesis, por su paciencia, guía y valiosas enseñanzas. Su apoyo fue determinante para convertir esta idea en una realidad.

Theo Fernando Chilingua Taipe

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por la salud, la fortaleza y las oportunidades que me permitieron superar cada desafío a lo largo de este proceso académico.

A mis padres y a mi abuelita, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración, les expreso mi más profundo agradecimiento por su amor incondicional, sus sacrificios y su apoyo inquebrantable. Su ejemplo de esfuerzo y perseverancia ha sido la base sobre la cual he construido este logro. Gracias por enseñarme a enfrentar las adversidades con determinación y a nunca rendirme. Este triunfo les pertenece tanto a ustedes como a mí.

Extiendo un reconocimiento especial a Felipe, por su dedicación, tiempo y conocimientos, que fueron fundamentales en la elaboración de este trabajo de titulación. También a Iván, Caleb e Isaac, por su colaboración en la toma de imágenes y en el desarrollo del proyecto, aportando su esfuerzo y compromiso.

A mi tutor, el MSc. Carpio Pineda, y a mi asesor de tesis, el MSc. Fausto Salazar, les expreso mi más sincera gratitud por su paciencia, orientación y por compartir su experiencia y conocimientos. Su guía fue clave para llevar este proyecto a una conclusión exitosa.

A mis profesores y compañeros de carrera, quienes contribuyeron significativamente a mi formación tanto académica como personal, les agradezco por compartir sus enseñanzas, experiencias y apoyo a lo largo de esta etapa.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, han estado presentes en este camino brindándome ánimo, confianza y ayuda, les expreso mi más profundo agradecimiento. Cada uno de ustedes ha dejado una huella invaluable en mi vida, y por ello, siempre estaré eternamente agradecido.

Theo Fernando Chilingua Taipe

ÍNDICE

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
Resumen.....	13
Abstract	14
INTRODUCCIÓN	15
Tema	15
Problema	15
Objetivos	16
<i>Objetivo General</i>	16
<i>Objetivos Específicos</i>	16
Alcance.....	17
Metodología	18
Justificación.....	19
<i>Justificación Tecnológica</i>	19
<i>Justificación Social</i>	20
Contexto de la Investigación	20
CAPÍTULO I.....	22
Marco Teórico.....	22
1.1. Modelos 3D.....	22
1.1.1. Definición y Características	22
1.1.2. Historia y evolución del modelado 3D.....	23
1.1.3. Propiedades de un Objeto 3D	24
1.1.4. Usos de Objetos 3D a Futuro	25
1.2. Comportamiento de un Objeto 3D.....	26
1.2.1. Vistas de un Objeto Tridimensional	26
1.2.2. Realidad Aumentada (RA)	27
1.2.3. Interacción en entornos virtuales y de Realidad Aumentada (RA)	28
1.3. Técnicas para el Modelado 3D.....	29
1.3.1. Fotogrametría	30
1.3.2. LiDAR	34
1.3.3. Diferencias entre Fotogrametría y LiDAR	37
1.3.4. Aplicaciones	38
1.4. Aplicaciones Móviles.....	39
1.4.1. Desarrollo y evolución de aplicaciones móviles para modelado 3D	39
1.4.2. Revisión de aplicaciones destacadas en Play Store para modelado 3D.....	39
CAPÍTULO II.....	41
Estudio de las Herramientas	41
2.1. Selección de las Aplicaciones móviles.....	41
2.1.1. Polycam: 3D Scanner & Editor.....	43

2.1.2.	MagiScan - AI 3D Scanner app	44
2.1.3.	xOne: 3D Scanner & 3D Editor	45
2.1.4.	Kiri Engine: Escáner 3D	46
2.1.5.	RealityScan - 3D Scanning App	47
2.1.6.	3DScanner - Photos to 3D model	48
2.1.7.	WIDAR - 3D Scan & Edit	49
2.1.8.	PIX4Dcatch: 3D scanner	50
2.1.9.	DECAL - 3D Scanner	51
2.1.10.	Revo Scan - 3D Scanner APP	52
2.2.	Estudio de las Aplicaciones	53
2.2.1.	Materiales	53
	• Sujeto de Prueba 1	53
	• Sujeto de Prueba 2	54
	• Sujeto de Prueba 3	54
	• Escenario o Área de captura	55
	• Celular	56
2.2.2.	Escaneo de las Personas	56
	• Polycam: 3D Scanner & Editor	56
	• xOne: 3D Scanner & 3D Editor	58
	• Kiri Engine: Escáner 3D	60
	• 3D Scanner - Photos to 3D model	62
2.3.	Obtención de Modelos	64
	• Polycam: 3D Scanner & Editor	64
	• xOne: 3D Scanner & 3D Editor	65
	• Kiri Engine: Escáner 3D	66
	• 3D Scanner - Photos to 3D model	67
2.4.	Prototipo de RA	68
2.4.1.	Unity	68
2.4.2.	Unity Hub	69
2.4.3.	Vuforia	70
2.4.4.	Aplicación de RA	71
CAPÍTULO III.....		75
Validación de Resultados		75
3.1.	Metodología de Evaluación	75
3.1.1.	Métricas de Evaluación	75
	• Densidad	75
	• Número de Texturados sobre el Número de Puntos Visibles	77
	• Diferencia de Formas y Comparación de Contornos con Medida de Distancia	77
	• Comparación de Variación de la Curvatura del Modelo con los Bordes de la Textura utilizando Medida de Distancia	83
3.2.	Análisis de Impacto	89

• Impacto Social.....	89
• Impacto Tecnológico	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
• Conclusiones	90
• Recomendaciones	91
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS.....	98
ANEXO A: Cálculo de la densidad	98
ANEXO B: Descripción de los Polígonos & UV	98
ANEXO C: Porcentajes de Similitud en Formas y Similitud en Curvas	100
ANEXO D: Detección de Forma con Python y Google Colab	101
ANEXO E: Detección de Contornos y Bordes con Python y Google Colab	102
ANEXO F: Comparar resultados con Python y Google Colab.....	103
ANEXO G: Obtener Información del Modelo 3D a través del visor 3D Object Converter.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Trabajos Relacionados	20
Tabla 2 Características	23
Tabla 3 Ventajas	27
Tabla 4 Aspectos Importantes	40
Tabla 5 Aplicaciones móviles descargadas	41
Tabla 6 Características del teléfono Celular	42
Tabla 7 Tabla de resultados Polycam	58
Tabla 8 Tabla de Resultados xOne 3D	60
Tabla 9 Tabla de Resultados Kiri Engine	62
Tabla 10 Tabla de Resultados 3D Scanner.....	64
Tabla 11 Modelos 3D Generados Polycam.....	64
Tabla 12 Modelos 3D Generados xOne 3D.....	65
Tabla 13 Modelos 3D Generados Kiri Engine.....	66
Tabla 14 Modelos 3D Generados 3D Scanner - Photos to 3D model.....	67
Tabla 15 Densidad de los Modelos.....	76
Tabla 16 Polígonos y UV Polígonos	77
Tabla 17 Porcentaje de Similitud en Forma de Polycam	81
Tabla 18 Porcentaje de Similitud en Forma de xOne	81
Tabla 19 Porcentaje de Similitud en Forma de Kiri Engine.....	82
Tabla 20 Porcentaje de Similitud en Forma de 3DScanner	82
Tabla 21 Porcentaje en Similitud en Curvas de Polycam	86
Tabla 22 Porcentaje en Similitud en Curvas de xOne	86
Tabla 23 Porcentaje en Similitud en Curvas de Kiri Engine.....	87
Tabla 24 Porcentaje en Similitud en Curvas de 3DScanner	87
Tabla 25 Tiempo empleado por las Aplicaciones.....	88
Tabla 26 Resumen de las Métricas	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol de Problemas.....	16
Figura 2	Proceso del Proyecto	18
Figura 3	Metodología	19
Figura 4	Objeto 3D	25
Figura 5	Vistas o planos de la visión en 3D [22].....	27
Figura 6	Fotogrametría [30].....	31
Figura 7	Captura de un Objeto con fotogrametría [32]	32
Figura 8	Cámara en trípode capturando imágenes [36]	33
Figura 9	Dron Capturando Imágenes aéreas [34]	33
Figura 10	Escaneo 3D LiDAR [39]	35
Figura 11	Escaneo 3D LiDAR con láser [41]	35
Figura 12	Samsung Galaxy S9 Plus (SM-G965F).....	42
Figura 13	Pantalla Explore de Polycam	43
Figura 14	Pantalla Principal de MagiScan.....	44
Figura 15	Pantalla Principal de xOne	45
Figura 16	Pantalla Principal de Kiri Engine	46
Figura 17	Pantalla Principal de RealityScan.....	47
Figura 18	Pantalla Principal de 3DScanner.....	48
Figura 19	Pantalla Principal de WIDAR.....	49
Figura 20	Pantalla Principal de LiDAR	50
Figura 21	Pantalla Principal de DECAL-3D Scanner.....	51
Figura 22	Pantalla Principal de Revo Scan - 3D Scanner APP	52
Figura 23	Persona adulta de 55 años	53
Figura 24	Adolescente de 17 años	54
Figura 25	Niño de 14 años	54
Figura 26	Área de Captura	55
Figura 27	Celular Personal Samsung Galaxy S9 Plus	56
Figura 28	Pantalla con las capturas realizadas	57
Figura 29	Pantalla Principal de Polycam	57
Figura 30	Modelo 3D Generado por Polycam	57
Figura 31	Pantalla para iniciar con la captura en xOne	58
Figura 32	Pantalla Principal de xOne	58
Figura 33	Pantalla de Procesamiento de xOne	59
Figura 34	Modelo 3D Generado por xOne	59
Figura 35	Selección del método para generar el Modelo	60
Figura 36	Pantalla de Inicio Kiri Engine.....	60
Figura 37	Pantalla para iniciar un nuevo modelo 3D	60
Figura 38	Pantalla para iniciar la Captura	61
Figura 39	Procesamiento de Kiri Engine	61
Figura 40	Carga de imágenes en Kiri Engine.....	61
Figura 41	Modelo 3D generado de Kiri Engine.....	61
Figura 42	Pantalla Iniciar un nuevo Modelo en 3D Scanner	62

Figura 43 Pantalla de Selección de método para generar el modelo 3D	62
Figura 44 Sección de muestra de las capturas realizadas	63
Figura 45 Modelo 3D generado por 3D Scanner.....	63
Figura 46 Pantalla Principal de Unity	68
Figura 47 Pantalla Principal Unity Hub.....	69
Figura 48 Configuración de Vuforia	70
Figura 49 Versión de del proyecto en Unity.....	71
Figura 50 Entorno de Trabajo Unity.....	71
Figura 51 Pantalla de Carga de inicio practicaRA.....	72
Figura 52 Pantalla Web de Vuforia.....	73
Figura 53 Ícono de la aplicación practicaRA	73
Figura 54 Demostración de la Aplicación	74
Figura 55 Modelo 3D de Sujeto de Prueba 1 de Polycam.....	76
Figura 56 Modelo 3D de Sujeto de Prueba 2 de xOne.....	76
Figura 57 Modelo 3D de Sujeto de Prueba 3 de xOne.....	76
Figura 58 Forma Posterior Sujeto de Prueba 1	78
Figura 59 Forma Frontal Sujeto de Prueba 1	78
Figura 60 Forma Izquierda Sujeto de Prueba 1.....	78
Figura 61 Forma Derecha Sujeto de Prueba 1.....	78
Figura 62 Forma Frontal Sujeto de Prueba 2	79
Figura 63 Forma Posterior Sujeto de Prueba 2	79
Figura 64 Forma Derecha Sujeto de Prueba 2.....	79
Figura 65 Forma Izquierda Sujeto de Prueba 2.....	79
Figura 66 Forma Frontal Sujeto de Prueba 3	80
Figura 67 Forma Posterior Sujeto de Prueba 3	80
Figura 68 Forma Izquierda Sujeto de Prueba 3.....	80
Figura 69 Forma Derecha Sujeto de Prueba 3.....	80
Figura 70 Contorno Posterior Sujeto de Prueba 1.....	83
Figura 71 Contorno Frontal Sujeto de Prueba 1.....	83
Figura 72 Contorno Izquierdo Sujeto de Prueba 1	84
Figura 73 Contorno Derecho Sujeto de Prueba 1	84
Figura 74 Contorno Frontal Sujeto de Prueba 2.....	84
Figura 75 Contorno Posterior Sujeto de Prueba 2.....	84
Figura 76 Contorno Derecho Sujeto de Prueba 2	84
Figura 77 Contorno Izquierdo Sujeto de Prueba 2	84
Figura 78 Contorno Posterior Sujeto de Prueba 3.....	85
Figura 79 Contorno Frontal Sujeto de Prueba 3.....	85
Figura 80 Contorno Izquierdo Sujeto de Prueba 3	85
Figura 81 Contorno Derecho Sujeto de Prueba 3	85

Resumen

Este estudio tiene como objetivo comparar la precisión en la creación de modelos 3D de cabezas humanas mediante aplicaciones móviles de Play Store para su uso en realidad aumentada. Se buscó identificar cuál de estas aplicaciones genera modelos 3D más fieles a los sujetos escaneados. La evaluación se realizó a partir de métricas que analizan diversos aspectos, como la densidad y la similitud en la forma, además de tomar en cuenta características específicas de cada aplicación, como el tiempo de captura, el número de tomas y el tiempo de procesamiento.

Para ello, se evaluaron cuatro aplicaciones: Polycam, xOne, Kiri Engine y 3D Scanner. Los resultados mostraron que, en términos de similitud de forma, Kiri Engine fue la mejor con un 80.77%, seguida por Polycam (80.59%) y xOne (79.84%), mientras que 3D Scanner obtuvo el rendimiento más bajo con un 76.46%.

En similitud de curvas, Kiri Engine también lideró con un 69.04%, seguida por xOne (66.78%) y Polycam (62.20%), mientras que 3D Scanner obtuvo el menor desempeño (61.17%). Así, se concluye que Kiri Engine genera los modelos 3D de mayor calidad.

La estructura de este documento se organiza de la siguiente manera:

La introducción presenta el planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos, así como el alcance, la justificación y la metodología del estudio.

En el Capítulo 1, se desarrolla el marco teórico, abordando conceptos clave sobre modelos 3D, su comportamiento, las técnicas utilizadas para su generación, así como fundamentos de realidad aumentada y fotogrametría.

El Capítulo 2 describe el proceso de desarrollo del estudio, incluyendo la selección de las aplicaciones móviles, la captura de imágenes para la generación de modelos y el desarrollo de un prototipo de aplicación de realidad aumentada mediante herramientas tecnológicas como Unity y Vuforia.

Finalmente, en el Capítulo 3, se detalla la metodología de evaluación aplicada a los modelos 3D obtenidos y se presentan los resultados que permiten determinar la mejor aplicación con base en diferentes métricas.

Palabras clave: Modelos 3D, Aplicaciones de RA, Herramientas de Comparación, Fotogrametría, Unity.

Abstract

This study aims to compare the accuracy of 3D human head modeling using mobile applications available on the Play Store for augmented reality use. The goal was to identify which of these applications produces 3D models that are most faithful to the scanned subjects. The evaluation was based on metrics analyzing various aspects, such as model density and shape similarity, while also considering specific features of each application, such as capture time, number of shots, and processing time.

For this purpose, four applications were evaluated: Polycam, xOne, Kiri Engine, and 3D Scanner. The results showed that, in terms of shape similarity, Kiri Engine performed the best with 80.77%, followed by Polycam (80.59%) and xOne (79.84%), while 3D Scanner had the lowest performance at 76.46%.

Regarding curve similarity, Kiri Engine also led with 69.04%, followed by xOne (66.78%) and Polycam (62.20%), whereas 3D Scanner had the lowest performance (61.17%). Based on these results, Kiri Engine was determined to generate the highest-quality 3D models.

The structure of this document is organized as follows:

The Introduction presents the problem statement, general and specific objectives, as well as the scope, justification, and study methodology.

Chapter 1 develops the theoretical framework, covering key concepts related to 3D models, their behavior, the techniques used for their generation, and the fundamentals of augmented reality and photogrammetry.

Chapter 2 describes the study's development process, including the selection of mobile applications, image capture for model generation, and the development of an augmented reality application prototype using technological tools such as Unity and Vuforia.

Finally, Chapter 3 details the evaluation methodology applied to the 3D models obtained and presents the results that determine the best application based on different metrics.

Keywords: 3D Modelling, AR Applications, Comparison Tools, Photogrammetry, Unity.

INTRODUCCIÓN

Tema

Comparación de la precisión en la creación de modelos 3D de cabezas humanas mediante aplicaciones existentes en Play Store para aplicaciones en realidad aumentada.

Problema

El modelado 3D es una herramienta esencial en múltiples industrias como arquitectura, ingeniería, construcción, diseño, producción y entretenimiento, generando nuevas oportunidades. Permite visualizar productos antes de su fabricación, simular procesos mecánicos y médicos, y se utiliza ampliamente en cine, televisión, videojuegos y publicidad, como señala Saavedra [1], transformando los métodos de diseño y producción.

Las aplicaciones móviles han democratizado el modelado 3D, permitiendo a los usuarios crear modelos a partir de fotos tomadas con sus dispositivos Android. Estas aplicaciones, como menciona de Mauro [2], facilitan la captura de imágenes desde múltiples ángulos para luego generar modelos 3D exportables para impresión 3D o realidad virtual.

Sin embargo, a pesar de la accesibilidad de estas herramientas, la precisión en la generación de modelos 3D, especialmente de cabezas humanas, sigue siendo un desafío crítico para aplicaciones de realidad aumentada. Esta limitación afecta la calidad y aceptación de las aplicaciones, destacando la necesidad de una evaluación comparativa detallada de estas herramientas móviles disponibles en la Play Store.

Ante la amplia variedad de aplicaciones móviles disponibles, este estudio se propone reducir la incertidumbre al identificar la herramienta más eficiente para capturar y convertir imágenes en modelos 3D. Este análisis es fundamental para proyectos de realidad aumentada en diversas áreas, desde el entretenimiento hasta la medicina, como se ilustra en la Fig. 1, para su posterior uso en proyectos relacionados con la realidad aumentada.

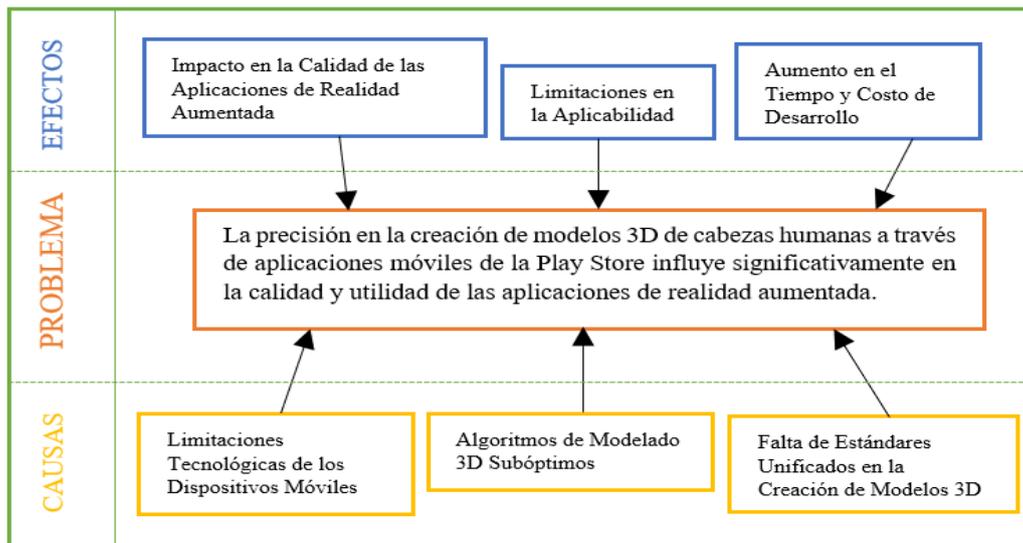


Figura 1 Árbol de Problemas

Objetivos

Objetivo General

Comparar la precisión en la creación de modelos 3D de cabezas humanas mediante aplicaciones existentes en Play Store para su uso en entornos de realidad aumentada.

Objetivos Específicos

1. Elaborar un marco teórico sobre la aplicación de modelados 3D con las técnicas utilizadas para su generación o captura en aplicaciones móviles.
2. Desarrollar una aplicación de realidad aumentada en Unity que utilice los modelos 3D de cabezas humanas generados por 3 Apps móviles encontradas en Play Store.
3. Aplicar la metodología de evaluación cuantitativa de modelos texturizados para medir cada objeto realizado por las aplicaciones estudiadas.

Alcance

Este proyecto de investigación se centra en examinar tres aplicaciones móviles diseñadas para el sistema operativo Android, disponibles en Play Store. Durante el proceso, se identificarán y seleccionarán aplicaciones que empleen la técnica de fotogrametría para un análisis detallado. Se considerarán tanto aplicaciones gratuitas como de pago, siempre y cuando el costo de la suscripción no sea excesivo.

Después de esta etapa, se analizarán las aplicaciones seleccionadas, las cuales permitirán capturar imágenes de diferentes usuarios; estas imágenes se procesarán para generar un modelado 3D de sus rostros y cabezas. Posteriormente, estos modelos permitirán desarrollar un prototipo de proyecto de realidad aumentada a través del uso del software Unity. En el APK se mostrarán los modelos de los rostros generados por las tres aplicaciones seleccionadas anteriormente, para luego poder realizar la comparación.

Subsiguiente a lo detallado en el párrafo anterior, se utilizarán métricas de evaluación específicas para cada modelo 3D generado, utilizando la metodología de evaluación cuantitativa de modelos texturizados. Esto dará lugar a un análisis detallado de cada una de las aplicaciones seleccionadas, teniendo en cuenta factores como el tiempo necesario para obtener el modelo, sus dimensiones, el ángulo y la distancia de captura.

Por último, se identificará la aplicación móvil que haya demostrado un rendimiento preciso y eficiente a lo largo del presente estudio, con lo cual se generará una comparativa de las aplicaciones analizadas, como se ilustra en la Fig. 2.

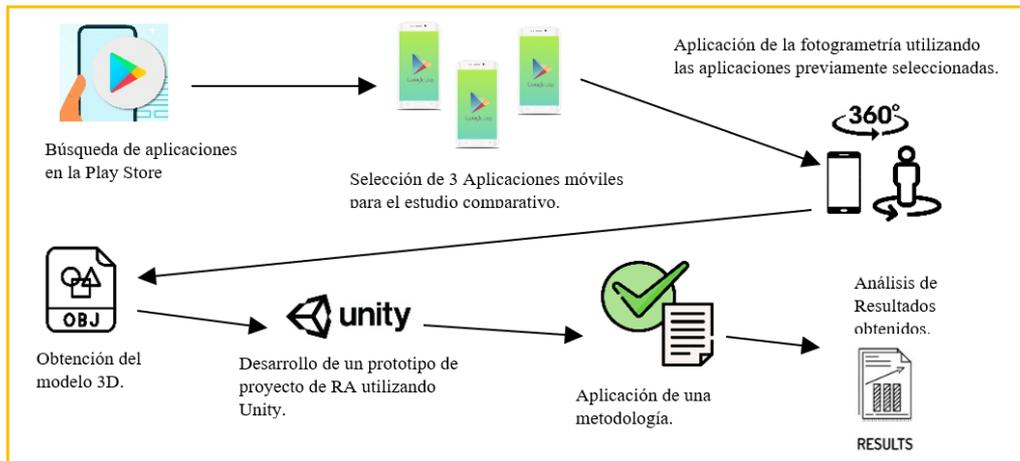


Figura 2 Proceso del Proyecto

Metodología

A través de una exhaustiva revisión bibliográfica en bases de datos especializadas, se propone la elaboración de un marco teórico que establecerá las bases esenciales de este proyecto de investigación. En él se incluirán aspectos clave como el modelado 3D, las técnicas utilizadas y el comportamiento de los modelos tridimensionales.

Para llevar a cabo la comparación entre aplicaciones móviles disponibles en Play Store, se partirá de la búsqueda de herramientas que permitan la captura de imágenes y su conversión en modelos 3D, así como del uso de la fotogrametría como técnica complementaria.

La fotogrametría es una técnica de escaneo que utiliza fotografías para generar modelos 3D de objetos, entornos y paisajes. Este proceso consiste en capturar múltiples imágenes de un objeto o escena desde distintos ángulos y, a continuación, utilizar un software especializado para crear un modelo tridimensional a partir de estas fotografías. Esta tecnología de escaneo 3D tiene amplias aplicaciones en diversos sectores, como la arquitectura, la construcción, la industria de los videojuegos y el entretenimiento, como menciona Sergi [3].

El uso de Unity como instrumento para la creación del prototipo del proyecto facilitará la validación de los resultados alcanzados. Esto se logrará mediante la evaluación de los modelos 3D generados por cada aplicación móvil, para de esta manera aplicar una metodología específica sustentada en una evaluación comparativa de las aplicaciones móviles utilizadas, como se ilustra en la Fig. 3.

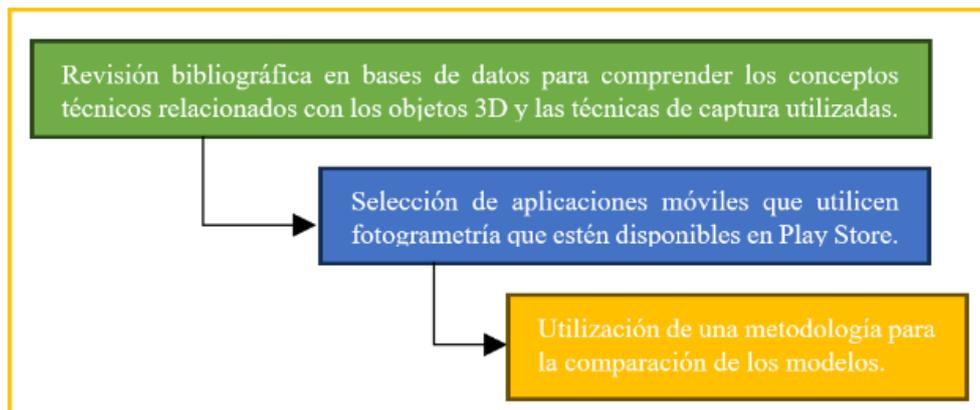


Figura 3 Metodología

Justificación

Este proyecto de investigación se basa en el novedoso propósito de desarrollo sostenible establecido por las Naciones Unidas. Este propósito persigue actualizar la infraestructura y modificar las industrias para convertirlas en sustentables hasta el año 2030. Esto conlleva el uso más eficaz de los recursos, fomentar tecnologías y procesos industriales ecológicos y respetuosos con el medio ambiente, y garantizar que todos los países adopten acciones en función de sus capacidades correspondientes, como señala la ONU [4].

Adicionalmente, el proyecto apoya el progreso tecnológico, la investigación y la innovación en las naciones en vías de desarrollo. Esto implica establecer un marco regulatorio propicio para la diversificación industrial y la optimización del valor de los productos esenciales, entre otros factores, como se menciona en la ONU [4].

Justificación Tecnológica

Este proyecto de investigación contribuye a generar y actualizar conocimientos en la identificación de herramientas tecnológicas, específicamente aplicaciones móviles disponibles en Play Store. Estas

aplicaciones se centran en capturar imágenes de objetos y convertirlas en modelos 3D, ofreciendo una alternativa a los métodos tradicionales de escritorio y aprovechando el potencial de la realidad aumentada como una tecnología emergente.

Justificación Social

La realidad aumentada (RA) tiene un gran impacto en aplicaciones significativas en diversos ámbitos, desde el social hasta el industrial. En el ámbito social, la RA ha revolucionado la manera en que nos relacionamos con la información y el entretenimiento. Por ejemplo, en el ámbito educativo, la RA permite experiencias de aprendizaje inmersivas y dinámicas, donde los estudiantes pueden visualizar conceptos abstractos de manera más concreta y participativa mediante proyectos y aplicaciones que son utilizadas para fortalecer los procesos en estas áreas estratégicas.

Contexto de la Investigación

Tabla 1 Trabajos Relacionados

INVESTIGACIÓN	APORTE
Tipo: Local Estudio de aplicaciones que convierten cuerpos sólidos en objetos 3D para su aplicación en realidad aumentada [5].	El estudio se enfocó en analizar aplicaciones de conversión de objetos sólidos en modelos 3D para realidad aumentada, destacando la efectividad de 3D Scanner Live por su rapidez, alta calidad y realismo en la representación de objetos. El aporte principal será la comparativa entre diversas aplicaciones, especialmente aquellas dirigidas a crear modelos 3D de cabezas humanas para realidad aumentada.
Tipo: Internacional Generación de DICOM-CT de lechos quirúrgicos mediante el escaneado y procesado 3D con dispositivos móviles [6].	El estudio se enfoca en generar imágenes DICOM-CT de lechos quirúrgicos mediante escaneo y procesamiento 3D en dispositivos móviles. Se evaluaron tecnologías de escaneo 3D en smartphones y se desarrolló un software en Python para producir imágenes en formato DICOM-CT. El presente trabajo busca identificar

	la mejor aplicación móvil en Play Store para generar modelos precisos a partir de la fotogrametría.
Tipo: Internacional Evaluación comparativa de modelos craneofaciales 3D mediante dispositivos móviles y fotogrametría [7].	El estudio compara modelos craneofaciales 3D generados por dispositivos móviles, fotogrametría y escáner 3D, destacando cómo el método de captura afecta la calidad y detalle de los modelos. Se encontraron diferencias significativas en la precisión, especialmente en las distancias entre modelos mallados y puntos anatómicos de referencia, según el método utilizado. La diferencia a lo existente es brindar información esencial para la selección y evaluación de aplicaciones móviles disponibles en Play Store, especialmente en el ámbito médico.
Tipo: Internacional Desarrollo de una Aplicación Móvil en Unity 3D con una API ARCore de Realidad Aumentada Orientada al Entretenimiento Infantil [8].	El trabajo se enfocó en desarrollar una aplicación móvil en Unity 3D con ARCore para el entretenimiento infantil, incluyendo funciones adicionales como la capacidad de pintar en el entorno. Se contribuirá en comparar la precisión en la creación de modelos 3D para su uso en entornos de realidad aumentada.
Tipo: Internacional Aplicación móvil con realidad aumentada para la visualización de prendas infantiles en 3D [9].	El estudio se enfoca en desarrollar una aplicación móvil de realidad aumentada para mostrar prendas de vestir a partir de modelos 3D, mejorando la experiencia de compra al permitir a los usuarios ver detalles y tomar decisiones informadas. En contraste, el presente trabajo se enfoca en comparar aspectos clave para generar modelos 3D a partir de la fotogrametría, considerando calidad y precisión.

CAPÍTULO I

Marco Teórico

1.1. Modelos 3D

1.1.1. Definición y Características

El modelado 3D es la técnica empleada para generar formas tridimensionales mediante software. En cierto sentido, se puede comparar con el trabajo de un artesano que talla o esculpe una obra. En este proceso, el arquitecto o diseñador elabora la imagen deseada desde cero, proporcionando una representación visual clara. La visualización de formas ambiguas es particularmente valiosa en esta técnica, ya que ayuda a confirmar detalles que podrían no ser obvios a simple vista. [10].

Modelar implica dar forma a algo, y el producto final de este proceso es un modelo. Esta definición es válida tanto para el trabajo con materiales blandos, como la plastilina o la arcilla, como para los entornos virtuales. Aunque las herramientas utilizadas pueden variar, el objetivo del modelado 3D sigue siendo el mismo.

Estos programas permiten la representación virtual de cada cara y superficie del objeto a modelar. Según el software utilizado, se disponen de diversas herramientas que permiten desde la creación de un boceto inicial hasta una representación detallada para análisis de ingeniería o representaciones fotorrealistas [11].

Como se menciona en Kefren [11], el modelado 3D se caracteriza por una serie de aspectos clave que abarcan casi todos los ámbitos de su aplicación. A continuación, se presenta una Tabla 2 de características, donde se destacan las características más relevantes:

Tabla 2 Características

Características	Descripción
Versatilidad en la Visualización	Facilita la visualización virtual y el intercambio global de avances en tiempo real para proyectos diversos.
Colaboración Interdisciplinaria	Facilita la colaboración interdepartamental entre ventas, fabricación e instalación.
Análisis de Ingeniería	Permite realizar análisis estáticos y dinámicos del producto ante diversas condiciones de carga y trabajo sin ensayos destructivos.

Fuente: [11].

1.1.2. Historia y evolución del modelado 3D

Euclides, un matemático griego del siglo III a.C., observó que cada ojo percibe una imagen ligeramente distinta. Esta disparidad en la percepción visual es la base que permite la ilusión de la tridimensionalidad [12].

La tecnología 3D tiene sus raíces en el siglo XIX, cuando William Friese-Greene, un fotógrafo de origen inglés, consiguió la patente del primer sistema de cine en tres dimensiones. A pesar de que este sistema tuvo una complicada trayectoria sin éxito, sentó los cimientos del cine 3D contemporáneo tal y como lo conocemos hoy en día, destacándose películas como Avatar [13]. En 1972, se alcanzó un hito crucial en la evolución de la tecnología de animación con el logro de Edwin Catmull y Fred Parke: la creación del primer renderizado tridimensional [14].

Según Lannes, Pupio y Mazzia [15], con el avance de las tecnologías emergentes desde principios del siglo XXI, se ha incrementado significativamente la relevancia de las técnicas de digitalización en la arqueología argentina. Estas técnicas son especialmente valoradas por su capacidad para generar modelos tridimensionales y facilitar así la difusión pública.

El inicio del modelado 3D se remonta al sistema SAGE desarrollado por el MIT en 1955 para las Fuerzas Aéreas de EE. UU., que convertía datos de radar terrestre en representaciones visuales. En 1957, el Dr. Patrick Hanratty lanzó software especializado: PRONTO para fabricación asistida por computadora (CAM) y CAD para diseño asistido por computadora,

estableciéndose como pionero en el campo del CAM/CAD, según mencionan Olmedo y Torrico en su artículo [16].

En Argentina, el uso de técnicas de digitalización para crear modelos tridimensionales está ganando popularidad en el campo de la Arqueología. Esto se debe a la incorporación de tecnologías emergentes desde principios del siglo XXI que están impulsando este incremento en su empleo, especialmente en su aplicación para la divulgación pública [15].

El proceso de generar representaciones digitales tridimensionales utilizando software especializado se conoce como visualización 3D, ya sea a través de imágenes estáticas o animaciones. Estos modelos 3D nos brindan una representación digital precisa del tamaño, forma y textura de objetos, personas e incluso entornos, permitiéndonos explorarlos de manera virtual [13].

Los modelos 3D ofrecen a los estudiantes la capacidad de ver y manejar conceptos de manera interactiva y dinámica, lo que podría incrementar su entendimiento y motivación. Este método no solo beneficia a los estudiantes, sino que también proporciona conocimientos valiosos a los desarrolladores de software y diseñadores de modelos 3D sobre las necesidades y preferencias de los estudiantes en este ámbito., según mencionan Garnica y Orellana [17].

Las técnicas pioneras en recursos 3D desarrolladas en años anteriores se convirtieron en la base fundamental para la renderización y el modelado 3D. Desde sus inicios, el modelado 3D ha experimentado una significativa evolución, convirtiéndose en una herramienta imprescindible en industrias como el cine, la medicina, la arquitectura, la educación, así como en videojuegos y efectos especiales en la actualidad.

1.1.3. Propiedades de un Objeto 3D

La habilidad para percibir las relaciones espaciales entre objetos se basa en la percepción tridimensional o de profundidad, la cual nos permite comprender visualmente las dimensiones y la disposición de los elementos que observamos.

Un objeto tridimensional posee longitud, ancho y altura. A diferencia de los objetos en 2D, los objetos 3D tienen grosor, aunque sea mínimo, como una hoja de papel. Vivimos en un mundo tridimensional, por lo que todo lo que nos rodea, como nuestra casa, computadora, automóvil y teléfono, son objetos 3D. Estos pueden describirse por sus tres dimensiones: ancho, largo y alto [18], como se muestra en la Fig. 1.

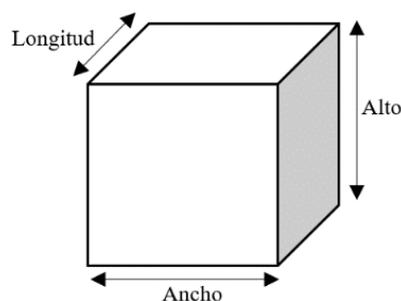


Figura 4 Objeto 3D

1.1.4. Usos de Objetos 3D a Futuro

El uso de objetos 3D ha revolucionado múltiples industrias, ofreciendo oportunidades que abarcan desde la creación de prototipos hasta la generación de contenido educativo y de entretenimiento. En medicina, los modelos 3D mejoran la planificación quirúrgica y permiten desarrollar prótesis personalizadas. En arquitectura y construcción, facilitan la visualización de proyectos complejos y la identificación de problemas antes de su ejecución.

La tecnología ha avanzado constantemente, lo cual ha permitido la integración de la Realidad Aumentada y el Modelado en Tercera Dimensión “3D” en una variedad de sectores como el industrial, comercial, educativo y del entretenimiento. Estas innovaciones también se han utilizado exitosamente en medicina, videojuegos, revistas, periódicos y programas de televisión. Mediante el uso de un software especializado, es posible visualizar información gráfica virtual en tiempo real y superponerla al mundo real en la pantalla de dispositivos electrónicos. Utiliza el reconocimiento espacial y la percepción de profundidad para ofrecer nuevas experiencias inmersivas a los usuarios [19].

Las significativas inversiones realizadas por empresas como Meta (anteriormente conocida como Facebook) en el desarrollo del Metaverso indican claramente la dirección futura de la tecnología 3D [12].

Estas inversiones indican que el futuro de la interacción digital se enfocará en crear entornos virtuales inmersivos, donde las personas puedan interactuar de manera más natural y envolvente. Las tecnologías de modelado y renderización 3D serán fundamentales, combinando realidad aumentada y virtual.

La capacidad de crear objetos desde cero y observar su formación gradual ha generado gran entusiasmo, posicionando a la tecnología 3D como un pilar central de la cuarta revolución industrial. Se anticipa que esta tecnología expandirá sus aplicaciones gracias a avances en realidad aumentada y virtual, impresión 3D y simulaciones avanzadas, integrándose profundamente en áreas como la educación, con experiencias de aprendizaje inmersivas, y la manufactura, optimizando la personalización y reduciendo los tiempos de producción [20].

1.2. Comportamiento de un Objeto 3D

1.2.1. Vistas de un Objeto Tridimensional

Sumoso [21] señala que en el estado del arte se han identificado múltiples técnicas para la generación de superficies a partir de imágenes. Entre los enfoques principales se encuentran: la estimación de la posición 3D de un objeto a partir de una sola imagen, la clasificación de objetos, la detección de varios objetos en una escena, la segmentación de una escena en diferentes regiones, y la reconstrucción y síntesis geométrica 3D utilizando una serie de imágenes.

Para elaborar un objeto en tres dimensiones, es esencial entender minuciosamente las seis perspectivas del objeto que se pretende representar en tres dimensiones. Actualmente, con el uso de programas especializados en modelado 3D, resulta fácil visualizar y valorar todas las perspectivas de un objeto con una gran nitidez, como se muestra en la Fig. 2, que ilustra las diferentes vistas o planos de la visión 3D.

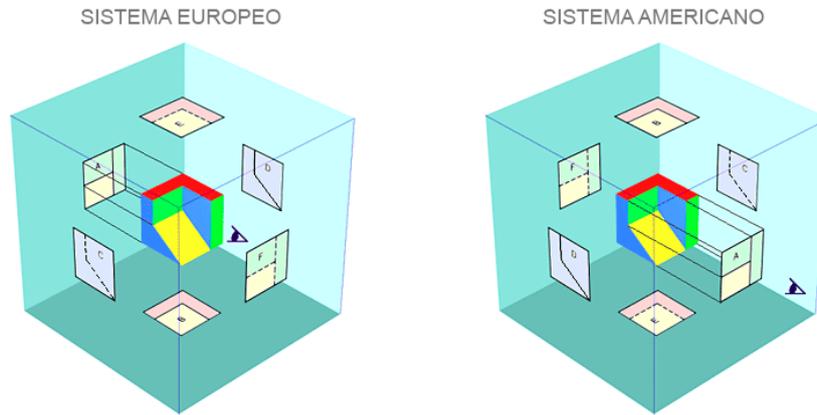


Figura 5 Vistas o planos de la visión en 3D [22]

1.2.2. Realidad Aumentada (RA)

A través de dispositivos como teléfonos móviles, la RA proporciona la oportunidad de vincular información visual con el mundo real. Esto genera experiencias que proporcionan conocimiento relevante sobre nuestro entorno en tiempo real. La RA permite la conexión entre el mundo virtual y el mundo real de una manera contextualizada, lo cual nos ayuda a entender mejor nuestro entorno [23].

Tal como menciona Martínez [23], la aplicación de esta tecnología ofrece diversas ventajas. A continuación, en la Tabla 2, se destacan las ventajas más relevantes:

Tabla 3 Ventajas

Ventajas	Descripción
Optimización de tiempos	La RA agiliza trabajos, procesos y acciones específicas en cualquier sector mediante información visual y precisa.
Facilitación de la formación	Permite un aprendizaje más versátil y llamativo, útil para la capacitación de empleados y la enseñanza de nuevas tareas.
Reducción de tiempos de decisión y aumento de ventas	Los clientes pueden conocer mejor un producto antes de la compra, acortando tiempos de decisión y aumentando las ventas.

Fuente: [23].

La aplicación de la realidad aumentada ofrece numerosas ventajas en entornos donde la visualización de información o imágenes predefinidas en

tiempo real es beneficiosa, abarcando prácticamente cualquier entorno o actividad [24].

Es crucial comprender la distinción entre realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV), ya que, aunque comparten ciertos aspectos, difieren en su enfoque principal. La realidad virtual reemplaza por completo el entorno real, mientras que la realidad aumentada implica mejorar la experiencia sensorial o proporcionar información adicional dentro del mundo real.

La RA combina visión por computadora, mapeo y seguimiento para sobreponer elementos digitales en ambientes reales, procesando datos en tiempo real a través de teléfonos inteligentes o hardware específico. En contraste, la Realidad Virtual (RV) crea entornos completamente simulados, eliminando la interacción con el mundo real mediante gafas y auriculares que transportan al usuario a un escenario diferente [25].

Esto no implica que una tecnología sea superior a la otra; más bien, destaca cómo los objetos 3D pueden comportarse de diversas maneras según su uso y aplicación.

1.2.3. Interacción en entornos virtuales y de Realidad Aumentada (RA)

La integración de la realidad virtual y la realidad aumentada está iniciando una nueva era en la tecnología de la experiencia. Estas dos tecnologías, que anteriormente se consideraban como áreas independientes, ahora se están combinando para desarrollar entornos inmersivos que revolucionan no solo el entretenimiento, sino también la educación, la medicina y diversos campos más [26].

Olmedo y Torrico [16] señalan en su artículo que la Realidad Aumentada y el Modelado 3D están relacionados con las TIC. Durante la pandemia de Covid-19, la Realidad Aumentada se ha usado más en programas de televisión de señal abierta para reducir riesgos. Los expertos ven potencial innovador al usar la Realidad Aumentada en programas en vivo desde estudios de televisión como

los de Radiotelevisión de Veracruz, y consideran lentes de contacto para proyectar información en tiempo real en turismo y entretenimiento.

Como indican González, Moreno y Picheira en su publicación [27], la digitalización de estos modelos surge como una solución innovadora para hacer frente al desafío, ya que brinda la posibilidad de acceder a los recursos educativos de forma remota y flexible. Este beneficio brinda a los estudiantes la oportunidad de interactuar con los modelos de arcadas dentales desde cualquier sitio y en cualquier instante, en ese momento, se potencian las posibilidades de aprendizaje y se acelera la integración de la enseñanza en ambientes virtuales.

La interacción con objetos 3D en entornos virtuales y de realidad aumentada permite a los usuarios manipular y trabajar con elementos tridimensionales en diferentes campos, desde aplicaciones en salud hasta entretenimiento. Estas interacciones son esenciales para crear experiencias envolventes y cautivadoras en ambos tipos de entornos.

1.3. Técnicas para el Modelado 3D

Una técnica eficaz para crear un modelo 3D implica capturar fotografías desde múltiples ángulos, teniendo en cuenta factores como la distancia, la iluminación y el ángulo de inclinación, entre otros detalles clave. Estos elementos son cruciales para la precisión y fidelidad del modelo final, ya que cada ángulo aporta información única sobre la forma y textura del objeto o sujeto que se está modelando.

Investigadores de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), el Instituto de Robótica e Informática Industrial (IRI), y la empresa Crisalix han desarrollado un sistema para generar modelos 3D de cabezas humanas usando solo tres fotografías. Antes, estos modelos requerían escaneos con un sensor de profundidad, técnica que exigía la presencia física y se complicó durante la pandemia de COVID, afectando la planificación médica [28].

Como se menciona en el párrafo anterior, esta técnica simplifica y acelera el proceso al eliminar la necesidad de escaneos presenciales con sensores de

profundidad. Su aplicación es especialmente relevante en contextos como la pandemia de COVID-19, donde es crucial reducir el contacto físico, mejorando así la planificación y ejecución de intervenciones médicas.

El modelado 3D, que representa objetos tridimensionales mediante software especializado, se asemeja a las artes plásticas y la escultura al permitir la creación de modelos que reflejan la visión del diseñador.

1.3.1. Fotogrametría

Según Wajjari [29], la fotogrametría utiliza métodos para medir e interpretar imágenes con el fin de determinar la forma y posición de un objeto utilizando una o varias fotografías del mismo.

La fotogrametría es una técnica de escaneo que emplea imágenes fotográficas para producir modelos 3D de objetos, ambientes y paisajes. El proceso implica tomar múltiples fotos de un objeto o escena desde diferentes ángulos y luego utilizar software especializado para crear un modelo tridimensional a partir de estas imágenes. Esta tecnología de escaneo 3D se utiliza en varios campos, como la arquitectura, la construcción, la industria de los videojuegos y el entretenimiento, según menciona Sergi [3].

Según Lannes, Pupio y Mazzia [15], los modelos tridimensionales generados mediante digitalización, especialmente a través de la técnica de fotogrametría, ofrecen amplias oportunidades en conservación e investigación, y son especialmente valiosos para la divulgación pública de la arqueología.

La fotogrametría se destaca por ofrecer una abundante cantidad de información de manera sencilla y portátil en diversos campos, desde la medicina hasta la arqueología. Basta con una cámara fotográfica, ya sea de alta gama o la de un teléfono móvil, para obtener resultados significativos. Un ejemplo de cómo se realizan las capturas de imagen utilizando esta técnica puede observarse en la Fig. 3.

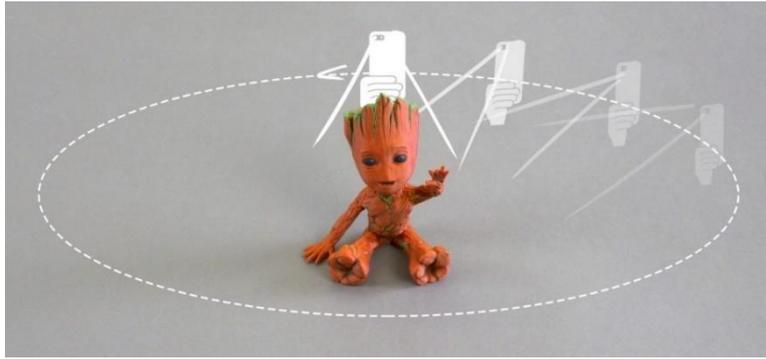


Figura 6 Fotogrametría [30]

1.3.1.1. Funcionamiento

El ser humano es capaz de estimar distancias entre objetos con solo observarlos. Esto se debe a que nuestros ojos capturan dos imágenes ligeramente diferentes y desplazadas de cada objeto, las cuales son procesadas por el cerebro para crear una percepción tridimensional.

El proceso de fotogrametría involucra múltiples etapas complejas que son cruciales para garantizar la utilidad del resultado final. Cada una de estas etapas debe ejecutarse con precisión para obtener modelos 3D precisos y funcionales [31].

La fotogrametría se basa en la perspectiva y su interpretación. A diferencia de la fotografía, que convierte una escena tridimensional en una imagen 2D, la fotogrametría invierte este proceso: analiza la imagen 2D y reconstruye un modelo 3D a partir de las pistas contenidas en las fotografías [32].

La fotogrametría involucra tomar varias fotos del objeto o persona para crear un modelo 3D. Este modelo se usa en entornos de realidad aumentada para agregar información digital al mundo físico, permitiendo la integración realista de objetos virtuales. Es una técnica esencial para crear experiencias inmersivas e interactivas, así como se puede observar en la Fig. 4.



Figura 7 Captura de un Objeto con fotogrametría [32]

1.3.1.2. Clasificación

La fotogrametría es un campo científico que utiliza imágenes del terreno para identificar características como la vegetación y las elevaciones de superficies. Este proceso avanzado se enfoca en transformar información bidimensional en datos específicos, ya sea topográfica o cartográfica. Además, contiene técnicas para determinar la forma y las dimensiones de objetos basándose en imágenes [33].

Como menciona Chirivella [34], hay distintas formas de clasificar la fotogrametría, dependiendo del tipo de fotografía utilizada y del método de procesamiento empleado. Dentro de estas dos clases, se pueden encontrar más clasificaciones y estas son:

a) **Fotogrametría Terrestre:**

Según Bermeo y Martínez [35], con el fin de capturar imágenes de un área específica, esta técnica emplea cámaras que están montadas ya sea en trípodes, vehículos u otros soportes colocados sobre el suelo. Se capturan numerosas fotos desde distintos ángulos y posiciones para garantizar una completa cobertura del objeto o área de interés., tal y cual como se demuestra en la Fig. 5,



Figura 8 Cámara en trípode capturando imágenes [36]

b) Fotogrametría Aérea:

Según Enríquez [33], esta subdisciplina de la fotogrametría emplea imágenes capturadas por cámaras aerotransportadas. Esto significa que el eje óptico de la cámara se mantiene principalmente en posición vertical, sin una ubicación fija en el espacio. Para esta especialización, se utilizan comúnmente cámaras de gran formato (23 × 23 cm) debido a su adecuación para trabajos cartográficos específicos, como se muestra en la Fig. 6.



Figura 9 Dron Capturando Imágenes aéreas [34]

Complementando, Chirivella [34] menciona que las tomas aéreas, tradicionalmente realizadas con cámaras en plataformas especiales, se han democratizado gracias al uso de drones. Esta tecnología permite transformar fotografías 2D en modelos 3D, resultando especialmente útil para la creación de terrenos en videojuegos.

- **Fotogrametría Analógica:** Emplea aparatos ópticos o mecánicos para alinear imágenes y crear modelos estereoscópicos nivelados y escalados. Ha sido esencial para el estudio de nuestro planeta.
- **Fotogrametría Digital:** Se enfoca en medir imágenes digitales para obtener geometría, radiometría e información semántica de objetos en 3D.

1.3.2. LiDAR

Según Bermeo y Martínez [35], un sistema LiDAR, cuyo acrónimo en inglés es "Light Detection And Ranging," es una tecnología que, de manera simple, mide distancias mediante la emisión de un rayo láser hacia una superficie u objeto. Esta tecnología funciona mediante un puntero láser que se refleja en diversos objetos, como paredes, suelos, mesas, entre otros.

En tiempos recientes, la tecnología LiDAR ha avanzado en el ámbito del escaneo 3D en dispositivos móviles, especialmente en iPad y iPhone más recientes. A diferencia de la fotogrametría, LiDAR emplea pulsos de luz infrarroja que se emiten hacia un objeto, midiendo el tiempo de retorno para calcular su distancia. Esto permite una captura más amplia que la que ofrece Face ID [37].

LiDAR que significa Detección y Teledetección por Láser, ha ampliado significativamente las oportunidades en diversas áreas como la ingeniería, la construcción y la planificación urbana, entre otros campos. Estas áreas requieren información precisa sobre la forma y dimensiones de superficies grandes [38].

LiDAR, al igual que la fotogrametría, es capaz de crear modelos 3D de personas al capturar la forma y dimensiones de objetos o sujetos. Utiliza sensores que miden la distancia con pulsos láser, logrando una alta precisión en la reconstrucción del modelo.

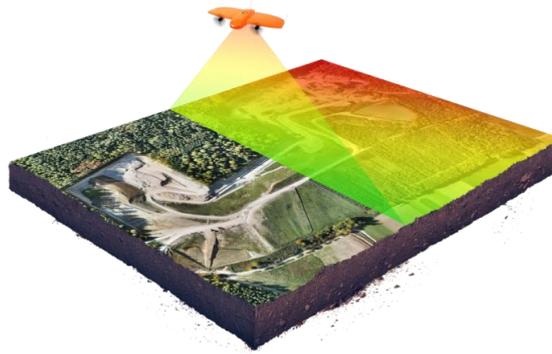


Figura 10 Escaneo 3D LiDAR [39]

1.3.2.1. Funcionamiento

Imas [40] explica que la tecnología LiDAR dirige un rayo láser hacia un objeto y usa un fotodetector para medir la luz reflejada y determinar la distancia, generando un mapa preciso del entorno. Las principales ventajas de LiDAR incluyen su capacidad para proporcionar una posición precisa en grandes áreas y su rapidez, lo que permite recopilar información detallada de manera eficiente. LiDAR opera utilizando dos conjuntos de medidas: la posición y dirección del láser, y la distancia, que se puede medir de varias formas.

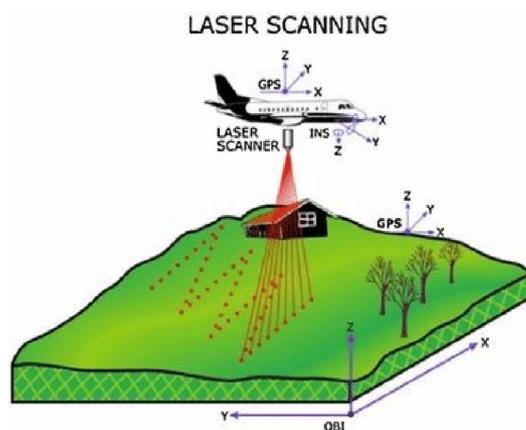


Figura 11 Escaneo 3D LiDAR con láser [41]

LiDAR, es una tecnología de teledetección que se basa en el uso de láseres. Su funcionamiento es simple, se dirige un láser hacia una superficie y se mide el tiempo que demora en regresar al punto de origen. Esta tecnología

encuentra aplicación en sistemas de información geográfica (SIG) para crear modelos digitales de elevación (MDE) o de terreno (MDT), siendo útil en la cartografía tridimensional [42].

En resumen, la tecnología LiDAR, que emplea luz para capturar imágenes precisas del entorno, se aplica en diversas disciplinas como la agricultura, la arqueología, la robótica, entre otros. Se prevé que su uso crecerá exponencialmente en un futuro cercano.

1.3.2.2. Clasificación

Existen dos tipos principales de escáneres LiDAR: aerotransportados y terrestres. Los escáneres aerotransportados emplean un dispositivo láser montado en un avión para medir el tiempo de viaje de los impulsos láser de ida y vuelta. Por otro lado, el LiDAR terrestre estático utiliza un escáner fijo en una posición estacionaria durante el proyecto de escaneado. Cuando el escaneo se realiza con un instrumento en una plataforma móvil en tierra, se denomina "escaneo láser móvil" [43].

Como se mencionó anteriormente, la técnica LiDAR, está basada en el escaneo mediante láseres, tiene la capacidad de generar modelos 3D. Según como se menciona en la publicación [38], esta técnica puede aplicarse de tres maneras:

- **Terrestres o Estacionarios:** Los escáneres LiDAR estacionarios generalmente cubren áreas más reducidas en comparación con los sistemas móviles y aéreos, pero ofrecen la máxima precisión. Estos escáneres se utilizan comúnmente para la ingeniería inversa y la inspección de calidad. Con la tecnología LiDAR, es posible escanear habitaciones, edificios y vehículos de todo tipo, ya sea que se desplacen por tierra, aire, agua o el espacio exterior.
- **Aerotransportados:** Los sensores LiDAR instalados en aeronaves recopilan datos tridimensionales de vastas áreas, cubriendo cientos de kilómetros cuadrados con notable precisión, adecuada

para proyectos a gran escala. Aunque no alcanzan una precisión submilimétrica, son invaluable para aplicaciones que requieren un alto nivel de detalle en grandes extensiones de terreno.

- **Móviles:** El equilibrio ideal entre precisión y el tamaño del área escaneada se encuentra en el sensor LiDAR móvil, lo que abre perspectivas aún más emocionantes, no solo para los ingenieros. Instalados en automóviles autónomos, los sistemas LiDAR escanean continuamente el entorno, calculando en tiempo real la distancia a los vehículos cercanos, peatones y otros obstáculos para evitar colisiones.

Ambas aplicaciones permiten obtener modelos tridimensionales precisos y detallados del entorno.

1.3.3. Diferencias entre Fotogrametría y LiDAR

La distinción fundamental entre la fotogrametría y LiDAR reside en sus capacidades y resultados. Al comprender estas diferencias, se evidencia que se complementan mutuamente en proyectos complejos. Mientras que el LiDAR brinda resultados precisos al delinear la forma de la vegetación y superar obstáculos densos para ofrecer datos terrestres detallados, la fotogrametría genera perspectivas realistas y precisas [39].

Tanto la fotogrametría como el LiDAR son técnicas ampliamente utilizadas para el modelado 3D, este estudio se centrará exclusivamente en aplicaciones de fotogrametría disponibles en Play Store. La elección de la fotogrametría se basa en que la mayoría de las aplicaciones actuales utilizan esta técnica, además de ser más accesibles en términos de costo y disponibilidad para dispositivos móviles comunes.

Aunque LiDAR ofrece resultados precisos en la generación de modelos 3D, su uso en aplicaciones móviles comerciales es más limitado, ya que no todos los usuarios poseen dispositivos móviles con capacidad para esta tecnología.

Por lo tanto, se ha decidido enfocar este estudio en la fotogrametría para proporcionar un análisis más detallado y relevante en el contexto actual de las aplicaciones móviles.

1.3.4. Aplicaciones

Las aplicaciones han revolucionado la interacción con la tecnología, ofreciendo soluciones en diversas áreas como productividad, entretenimiento, educación, salud, comercio electrónico, fotografía, transporte y realidad aumentada. Disponibles en tiendas como Google Play Store y Apple App Store, estas herramientas abarcan desde la gestión de tareas y aprendizaje, hasta experiencias inmersivas y monitoreo de la salud, aprovechando sensores avanzados y cámaras de alta resolución en dispositivos modernos. Su desarrollo refleja el avance continuo de la tecnología, adaptándose a las necesidades de usuarios y sectores específicos.

Las aplicaciones con la tecnología de escaneo 3D ha avanzado rápidamente y se ha vuelto más accesible. Anteriormente, requería hardware y software sofisticados, pero ahora se puede digitalizar objetos con un smartphone o tablet a través de una aplicación de escaneo 3D.

Algunas de las aplicaciones que están disponibles en Play Store, los usuarios tienen la capacidad de escanear objetos o espacios en poco tiempo, capturando sus formas y dimensiones para generar modelos digitales. Con el aumento de dispositivos móviles y aplicaciones intuitivas, cualquier profesional de diferentes industrias puede adaptarse rápidamente a la era digital. En el presente trabajo, se examina desde aplicaciones sin costo hasta alternativas más sofisticadas para realizar escaneos únicamente con tu celular. [34].

1.4. Aplicaciones Móviles

1.4.1. Desarrollo y evolución de aplicaciones móviles para modelado 3D

Las aplicaciones que crean modelos tridimensionales a partir de objetos o personas no utilizan el escaneo en el sentido técnico, sino que recurren a la fotogrametría. No obstante, esta distinción técnica carece de relevancia para el usuario. Al iniciar la aplicación, simplemente rodeas el objeto o la persona con tu dispositivo Apple o Android. En este proceso, la aplicación toma fotos de forma independiente, las cuales se emplean para generar el contenido en 3D [37].

El mundo ha sido revolucionado con las nuevas aplicaciones de escaneo 3D, cambiando por completo nuestra forma de capturar la realidad. Con tan solo un smartphone o una Tablet, es posible que los usuarios puedan generar modelos 3D de excelente calidad de objetos y entornos reales. Estas creaciones resultarán sumamente útiles para la construcción de gemelos digitales, el desarrollo de diseños de productos, así como para su aplicación en la realidad virtual y juegos. Generalmente, estas aplicaciones se clasifican según los modos de escaneo 3D que utilizan: fotogrametría y LiDAR [37].

1.4.2. Revisión de aplicaciones destacadas en Play Store para modelado 3D

Hoy en día, hay una variedad de aplicaciones disponibles en plataformas como la Play Store. La selección de la aplicación más adecuada dependerá de las necesidades particulares y del tipo de dispositivo que se utilice para la creación del modelo 3D.

Es recomendable investigar y comparar diversas opciones, así como leer las reseñas de otros usuarios para identificar la aplicación que mejor se adapte a los requerimientos específicos, garantizando así una experiencia de modelado 3D más precisa y satisfactoria.

Según lo que menciona Hanaphy [37], para poder seleccionar la mejor aplicación de escáner 3D, es esencial considerar varios aspectos que se muestran en la siguiente tabla de aspectos importantes Tabla 3 a continuación:

Tabla 4 Aspectos Importantes

Aspecto	Descripción
Precisión del modelo 3D	Modelos altamente precisos y bien texturizados.
Facilidad de uso	Interfaz de usuario intuitiva y fácil de navegar.
Costo	Considerar pagos únicos, suscripciones y funciones avanzadas.
Compatibilidad	Integración fluida con software de terceros para impresión y modelado 3D.
Velocidad de procesamiento	Capacidad para escanear y procesar modelos 3D en tiempo real.
Soporte técnico	Soporte técnico sólido y tutoriales para optimizar resultados.

Fuente: [37].

CAPÍTULO II

Estudio de las Herramientas

2.1. Selección de las Aplicaciones móviles

En este estudio, se hizo uso de Google Play Store para la elección de herramientas, una plataforma digital creada para la distribución y descarga de aplicaciones para móviles en dispositivos con sistema operativo Android. Para identificar las herramientas más adecuadas, se emplearon términos de búsqueda específicos como "3D scanner", "fotogrametría" y "3D fotogrametría scanner app".

Estas búsquedas permitieron identificar un total de diez aplicaciones móviles que, según la información proporcionada en sus descripciones, cumplen con las características requeridas para este caso de estudio. Los detalles específicos de las aplicaciones seleccionadas se presentan en la Tabla 5:

Tabla 5 Aplicaciones móviles descargadas

Aplicación	Acceso Anticipado	Versión	Tamaño de Descarga	Puntuación
Polycam: 3D Scanner & Editor	No	2.0.2	751MB	4.5
MagiScan - AI 3D Scanner app	No	1.9.9	182MB	4.6
xOne: 3D Scanner & 3D Editor	No	6.0.4	567MB	4.2
Kiri Engine: Escáner 3D	No	V3.12.4Release	254MB	5.0
RealityScan - 3D Scanning App	No	1.5.2	584MB	5.0
3DScanner - Photos to 3D model	No	1.0	207MB	-
WIDAR - 3D Scan & Edit	No	4.1.3	403MB	4.7
PIX4Dcatch: 3D scanner	No	1.27.3	93MB	-
DECAL - 3D Scanner	No	1.2.3	351MB	-
Revo Scan - 3D Scanner APP	No	V5.3.8	154MB	-

Las aplicaciones mencionadas previamente fueron instaladas en un teléfono móvil cuyas características se describen en la tabla 6:

Tabla 6 Características del teléfono Celular

Características	
Marca	SAMSUNG
Modelo	Samsung Galaxy S9 Plus
One UI	2.5
Android	10
CPU	Qualcomm Snapdragon 845 (SDM845) / Samsung Exynos 9810*
RAM	6GB
Memoria Interna	256GB
Cámara Trasera	Dual 12.2+12 megapíxeles video 2160@60fps
Apertura Cámara	f/1.5



*Figura 12 Samsung Galaxy S9 Plus (SM-G965F)
Recuperado de: [44]*

2.1.1. Polycam: 3D Scanner & Editor

Polycam es una aplicación móvil innovadora que aprovecha la técnica de fotogrametría para capturar imágenes y transformarlas en modelos tridimensionales utilizando teléfonos inteligentes. Esta herramienta permite a los usuarios crear representaciones 3D detalladas de objetos y espacios con facilidad, gracias a su interfaz intuitiva que optimiza el proceso de captura, asegurando un desplazamiento fluido alrededor del objeto para obtener resultados precisos. Los modelos generados pueden almacenarse localmente, compartirse en línea o exportarse para su edición en aplicaciones de terceros.

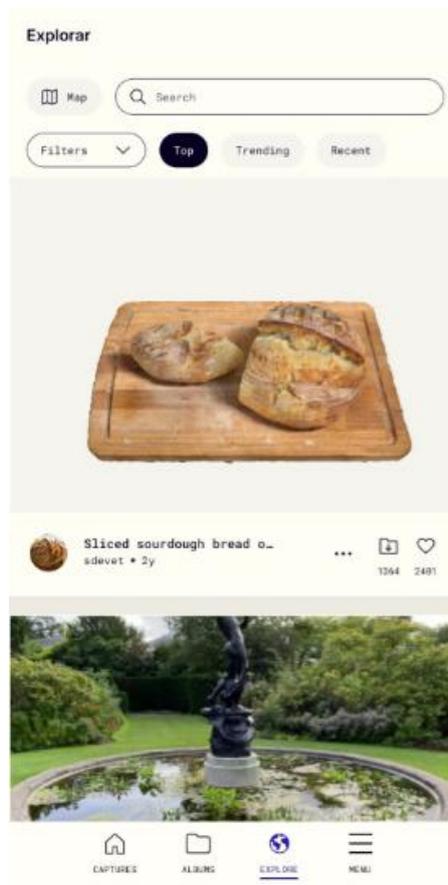


Figura 13 Pantalla Explore de Polycam

Además, son compatibles con entornos de realidad virtual y aumentada, lo que amplía sus posibilidades de aplicación en diversos campos, como diseño, educación, arquitectura y entretenimiento. Para acceder a sus funcionalidades completas, Polycam ofrece un modelo de suscripción mensual que garantiza un acceso continuo a sus herramientas avanzadas y opciones de descarga.

2.1.2. MagiScan - AI 3D Scanner app

Es una aplicación móvil diseñada para capturar y generar modelos 3D de alta precisión mediante la integración de tecnologías avanzadas como la fotogrametría y el escaneo 3D. Su interfaz amigable y accesible permite a los usuarios convertir objetos físicos en representaciones tridimensionales detalladas utilizando únicamente la cámara de un teléfono inteligente.

MagiScan se destaca por su capacidad para la creación de modelos realistas que pueden ser utilizados en áreas como realidad aumentada, diseño de productos, juegos y educación. La aplicación ofrece opciones de exportación versátiles, permitiendo compartir, editar y utilizar los modelos generados en diferentes plataformas y software especializados.



Figura 14 Pantalla Principal de MagiScan

Además, cuenta con herramientas de optimización que mejoran la textura y los detalles del modelo, proporcionando resultados de calidad profesional. MagiScan es ideal tanto para principiantes como para expertos, y su modelo de suscripción ofrece acceso a características avanzadas, como mayor resolución y compatibilidad con dispositivos adicionales, maximizando su potencial en proyectos creativos e industriales.

2.1.3. xOne: 3D Scanner & 3D Editor

Esta aplicación móvil está diseñada para capturar y editar modelos 3D de objetos y entornos utilizando la cámara de un teléfono inteligente. Utiliza tecnología de escaneo tridimensional para crear representaciones precisas y detalladas de objetos en el mundo real, que luego pueden ser manipuladas y editadas dentro de la misma aplicación. XOne permite a los usuarios escanear fácilmente diversos objetos, generando modelos 3D que pueden ser guardados, compartidos o exportados para ser utilizados en proyectos de diseño, impresión 3D, o realidad aumentada.

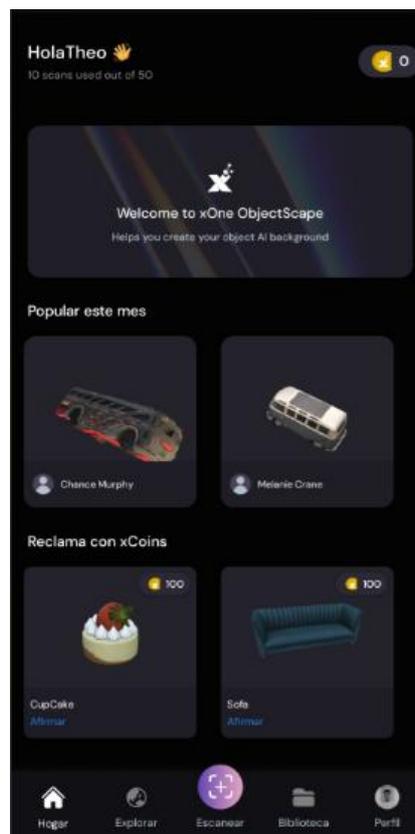


Figura 15 Pantalla Principal de xOne

Además de sus capacidades de escaneo, la aplicación ofrece herramientas de edición 3D, permitiendo a los usuarios realizar ajustes detallados en los modelos creados, como la eliminación de imperfecciones o la adición de elementos adicionales. Su interfaz intuitiva y accesible hace que tanto profesionales como principiantes puedan utilizarla de manera eficiente para crear modelos 3D de alta calidad.

2.1.4. Kiri Engine: Escáner 3D

Kiri Engine es una aplicación móvil que utiliza la tecnología de fotogrametría y escaneo 3D para crear modelos tridimensionales a partir de fotografías capturadas con un teléfono inteligente. Esta herramienta permite a los usuarios escanear objetos y entornos de manera sencilla y rápida, convirtiendo las imágenes tomadas en modelos 3D detallados. Es ideal para usuarios que buscan crear representaciones virtuales de objetos, con aplicaciones en áreas como diseño, modelado 3D, impresión 3D y realidad aumentada.

La interfaz de la aplicación es fácil de usar, lo que facilita el proceso de escaneo incluso para personas sin experiencia previa en fotogrametría o modelado 3D. Los modelos generados pueden ser visualizados en 3D, editados o exportados a otras aplicaciones de diseño y modelado, o incluso impresos en 3D.

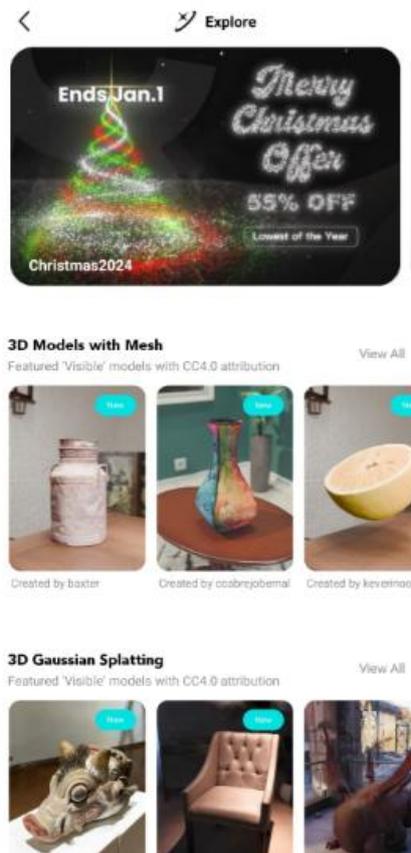


Figura 16 Pantalla Principal de Kiri Engine

Además, la aplicación soporta la creación de modelos de alta calidad, permitiendo a los usuarios obtener resultados precisos con un simple escaneo a través de su teléfono móvil.

2.1.5. RealityScan - 3D Scanning App

Aplicación diseñada para capturar y crear modelos 3D de objetos y entornos a través de la fotogrametría, utilizando la cámara del teléfono inteligente. Su objetivo es permitir a los usuarios generar representaciones tridimensionales de alta calidad de manera rápida y sencilla. La aplicación guía al usuario a través de un proceso intuitivo de escaneo, donde se captura el objeto desde diferentes ángulos para asegurar una reconstrucción precisa. Los modelos 3D resultantes pueden ser exportados en diversos formatos para su uso en aplicaciones de diseño, realidad aumentada o impresión 3D.

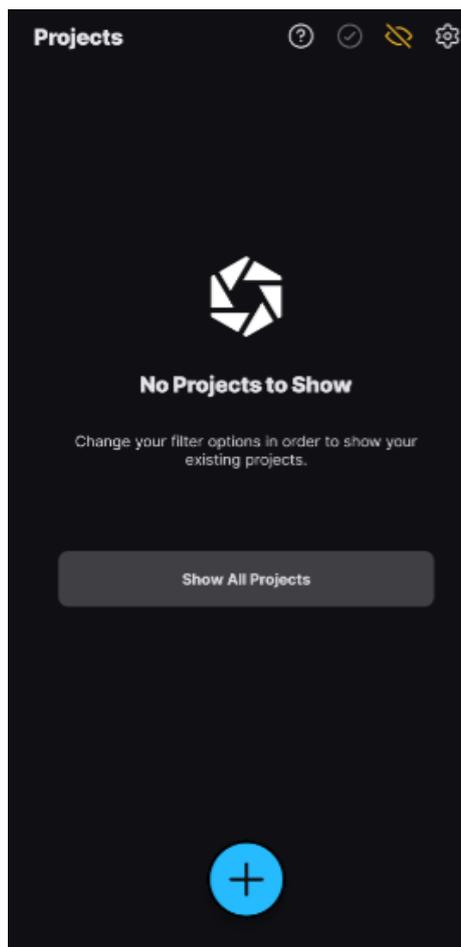


Figura 17 Pantalla Principal de RealityScan

Además, Reality Scan permite la edición y el perfeccionamiento de los modelos a través de herramientas integradas, y facilita la carga de los modelos a plataformas de modelado 3D como Sketchfab, donde pueden ser compartidos con otros usuarios. Esta aplicación está diseñada para usuarios tanto profesionales como aficionados que desean explorar el mundo del escaneo 3D de forma accesible y eficiente.

2.1.6. 3DScanner - Photos to 3D model

3DScanner es una aplicación diseñada para convertir fotografías tomadas con teléfonos inteligentes en modelos tridimensionales detallados y realistas. Utilizando técnicas avanzadas de fotogrametría, la aplicación permite a los usuarios capturar objetos desde múltiples ángulos y procesar las imágenes para generar un modelo 3D texturizado.

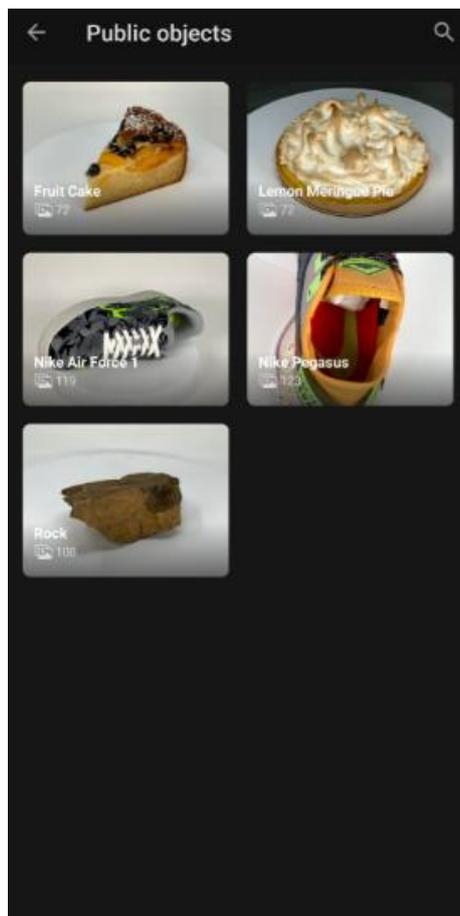


Figura 18 Pantalla Principal de 3DScanner

Esta herramienta es ideal para quienes buscan crear representaciones digitales para proyectos en diseño, arquitectura, videojuegos o aplicaciones de realidad aumentada y virtual. Los modelos generados pueden exportarse en formatos compatibles con software de edición 3D o integrarse en otras aplicaciones, ofreciendo una solución práctica y accesible para la creación de contenido tridimensional.

2.1.7. WIDAR - 3D Scan & Edit

La aplicación móvil está diseñada para escanear y editar modelos 3D de manera rápida y eficiente, utilizando únicamente la cámara de un teléfono inteligente. Esta herramienta aprovecha la tecnología de fotogrametría y escaneo 3D en tiempo real para capturar objetos físicos y convertirlos en modelos tridimensionales de alta calidad. Los usuarios pueden realizar ajustes directamente en la aplicación, como edición de textura, modelado y refinamiento, sin necesidad de software adicional.



Figura 19 Pantalla Principal de WIDAR

Además, WIDAR facilita la exportación de modelos a diferentes formatos compatibles con plataformas de diseño 3D, realidad virtual y realidad aumentada, lo que la convierte en una opción versátil tanto para principiantes como para profesionales. Su interfaz accesible y su capacidad para integrarse con flujos de trabajo creativos la posicionan como una solución práctica para proyectos relacionados con diseño, arquitectura, videojuegos y marketing digital.

2.1.8. PIX4Dcatch: 3D scanner

Aplicación móvil diseñada para transformar dispositivos inteligentes en herramientas avanzadas de captura 3D, utilizando fotogrametría para generar modelos tridimensionales detallados y precisos. La aplicación permite capturar imágenes georreferenciadas del entorno, guiando al usuario mediante un sistema visual que asegura una cobertura completa de la escena o el objeto.

Compatible con dispositivos iOS y Android, PIX4Dcatch se integra fácilmente con software como PIX4Dmapper para procesar y refinar los modelos capturados. Su uso es ideal para aplicaciones en arquitectura, construcción, arqueología, y cualquier campo que requiera documentación 3D precisa.

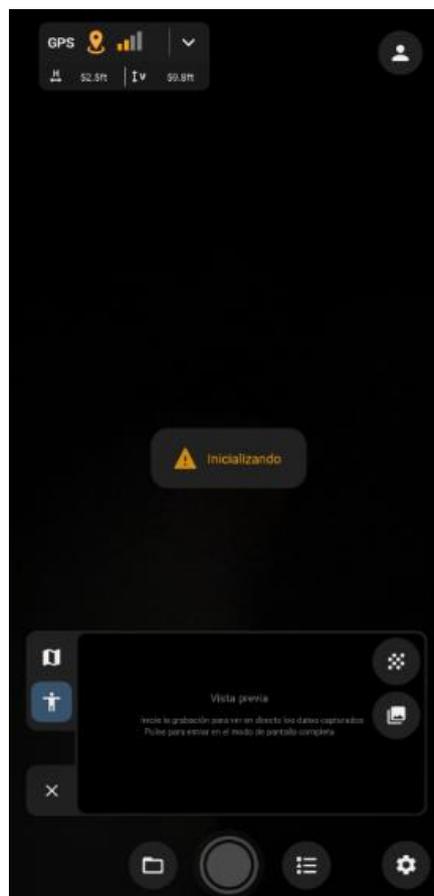


Figura 20 Pantalla Principal de LiDAR

Además, es compatible con sensores LiDAR en dispositivos avanzados, mejorando la precisión y calidad de los escaneos. Esta herramienta democratiza la creación de modelos 3D al combinar tecnología de última generación con una interfaz intuitiva y funcional.⁵

2.1.9. DECAL - 3D Scanner

Es una aplicación móvil diseñada para capturar objetos del mundo real y convertirlos en modelos tridimensionales detallados mediante el uso de tecnología de escaneo basada en cámaras de teléfonos inteligentes. La aplicación utiliza algoritmos avanzados de reconstrucción 3D para capturar texturas y formas de alta calidad, ofreciendo resultados precisos en pocos pasos.

Los modelos generados pueden exportarse en varios formatos compatibles con herramientas de diseño y software de realidad aumentada o virtual, permitiendo su uso en áreas como diseño industrial, creación de contenido digital, y educación.

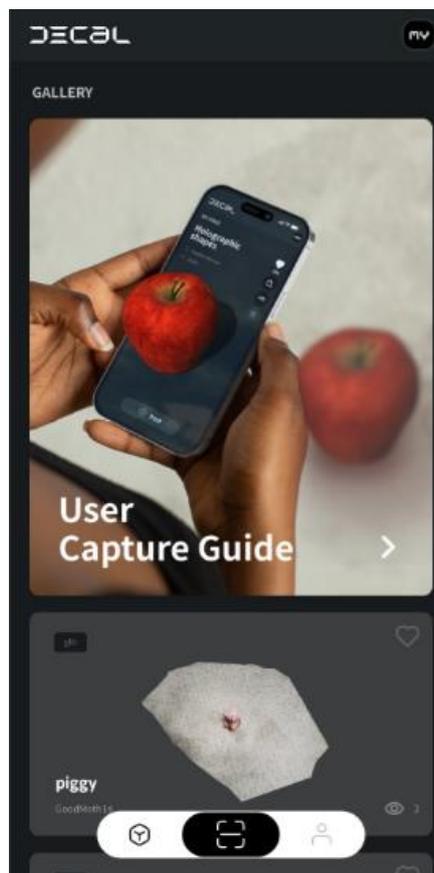


Figura 21 Pantalla Principal de DECAL-3D

DECAL también incorpora una interfaz fácil de usar, ideal para profesionales y aficionados que buscan una solución práctica y efectiva para digitalizar objetos.

2.1.10. Revo Scan - 3D Scanner APP

Es una aplicación móvil diseñada para capturar y generar modelos tridimensionales de alta precisión mediante escaneo. Compatible con dispositivos móviles y escáneres 3D de la marca Revopoint, esta herramienta permite digitalizar objetos físicos de manera rápida y eficiente, ofreciendo una experiencia intuitiva y accesible para usuarios de todos los niveles.

Los modelos obtenidos pueden ser exportados en formatos estándar, listos para su edición en software de diseño o impresión 3D, así como para aplicaciones en realidad aumentada y virtual.



Figura 22 Pantalla Principal de Revo Scan - 3D Scanner APP

Con características avanzadas, como opciones de texturizado y ajustes de precisión, Revo Scan se posiciona como una solución ideal para profesionales en áreas como diseño industrial, arte, educación y arquitectura.

Su integración con hardware especializado y su capacidad para capturar detalles complejos hacen de esta aplicación una herramienta versátil para proyectos creativos y técnicos.

2.2. Estudio de las Aplicaciones

Con la finalidad de escanear cabezas de personas utilizando las aplicaciones, se establecieron condiciones como el espacio o área en el que estarán las personas, la iluminación y la distancia.

Para garantizar resultados consistentes y comparables, se realizó la captura de imágenes utilizando cada aplicación, empleando un total de 51 imágenes para la generación de los modelos 3D. Este enfoque permite estandarizar el proceso y medir de manera precisa la eficacia y rendimiento de cada aplicación en la creación de modelos tridimensionales.

2.2.1. Materiales

El material principal de este estudio incluye a tres sujetos de prueba de diferentes edades: una persona de 55 años, otra de 17 años y una más de 14 años. A cada uno se le realizó el proceso de captura mediante imágenes bajo condiciones uniformes, garantizando que el espacio o área utilizada, la iluminación y la distancia de captura fueran las mismas en todos los casos.

Esta estandarización asegura que los resultados obtenidos sean comparables y reflejen exclusivamente las diferencias relacionadas con los sujetos, eliminando posibles variables externas que puedan influir en el proceso.

- **Sujeto de Prueba 1**

Como primer sujeto de prueba es una persona adulta del género masculino de 55 años.



Figura 23 Persona adulta de 55 años

- **Sujeto de Prueba 2**

Como segundo sujeto de prueba es un adolescente del género masculino de 17 años.



Figura 24 Adolescente de 17 años

- **Sujeto de Prueba 3**

Como tercer sujeto de prueba es un menor de edad del género masculino de 14 años.



Figura 25 Niño de 14 años

- **Escenario o Área de captura**

Para la captura de imágenes destinadas a la creación de modelos 3D, se diseñó e improvisó un espacio controlado que simula una habitación, utilizando telas blancas como elemento clave.



Figura 26 Área de Captura

Estas telas fueron colocadas estratégicamente para formar un entorno cerrado de aproximadamente 2 metros cuadrados. Este diseño no solo permite aislar el área de captura de posibles interferencias visuales o lumínicas externas, sino que también asegura una distribución uniforme de la luz, minimizando sombras y reflejos que puedan afectar la calidad de las imágenes capturadas.

En el centro de esta área se posicionó al sujeto de prueba, garantizando su estabilidad y facilitando el acceso desde diferentes ángulos para capturar imágenes completas mediante las aplicaciones seleccionadas.

Este método de improvisación resulta práctico y efectivo, proporcionando un entorno controlado que maximiza la calidad de las capturas, las cuales posteriormente serán procesadas para generar modelos tridimensionales con mayor precisión y detalle.

- **Celular**

El dispositivo móvil, como herramienta principal de uso personal, se empleará para la generación de modelos 3D, aprovechando su compatibilidad con las aplicaciones descargadas desde la Play Store.



Figura 27 Celular Personal Samsung Galaxy S9

2.2.2. Escaneo de las Personas

Inicialmente, se descargaron diez aplicaciones, de las cuales nueve lograron generar modelos 3D. Sin embargo, Revo Scan - 3D Scanner APP, no pudo ser utilizada debido a que requería un escáner externo para realizar la captura.

De las nueve aplicaciones que generaron modelos, se seleccionaron cuatro para su evaluación, considerando la facilidad de obtención del modelo 3D y el tiempo en que se demora en procesar y generar el modelo. Aplicaciones como MagiScan - AI 3D Scanner app, RealityScan – 3D Scanning App, WIDAR - 3D Scan & Edit, PIX4Dcatch: 3D scanner y DECAL - 3D Scanner fueron descartadas, ya que requerían de pago por cada escaneo o una suscripción para acceder a todas las funciones, aunque ofrecían de dos a tres pruebas gratuitas.

A continuación, se describen las aplicaciones que finalmente fueron escogidas para su estudio.

- **Polycam: 3D Scanner & Editor**

Esta aplicación ofrece como características la realización de escaneos faciales, de espacios abiertos y de objetos mediante el método de fotogrametría.

Al abrir la aplicación, el usuario se encuentra con una interfaz intuitiva, con la cámara lista para comenzar a capturar el objeto o rostro de manera inmediata.



Figura 29 Pantalla Principal de Polycam



Figura 28 Pantalla con las capturas realizadas

Tras completar la captura mediante fotogrametría, la aplicación procesa automáticamente las imágenes y genera el modelo 3D en solo unos minutos, como se indica en la tabla 7.

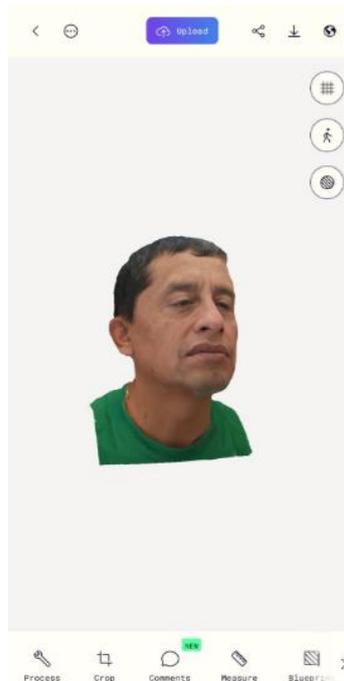


Figura 30 Modelo 3D Generado por Polycam

Tabla 7 Tabla de resultados Polycam

Características	
Tiempo de Captura	10 min
Tiempo de procesamiento	15 min
Número de fotos	51

- **xOne: 3D Scanner & 3D Editor**

En esta aplicación a primera vista da un apartado de bienvenida que presenta una selección destacada de modelos 3D generados por otros usuarios, los cuales se pueden interactuar.

Además, cuenta con un menú intuitivo ubicado en la parte inferior de la pantalla, que facilita el acceso a las diferentes funciones de la aplicación, destacando la opción de escanear nuevos elementos, ya sea un objeto o un sujeto.

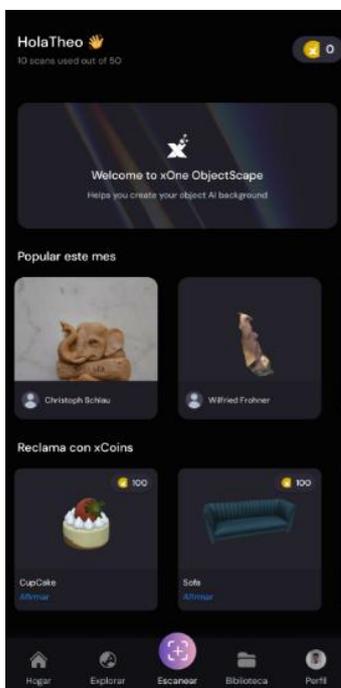


Figura 32 Pantalla Principal de xOne



Figura 31 Pantalla para iniciar con la captura en xOne

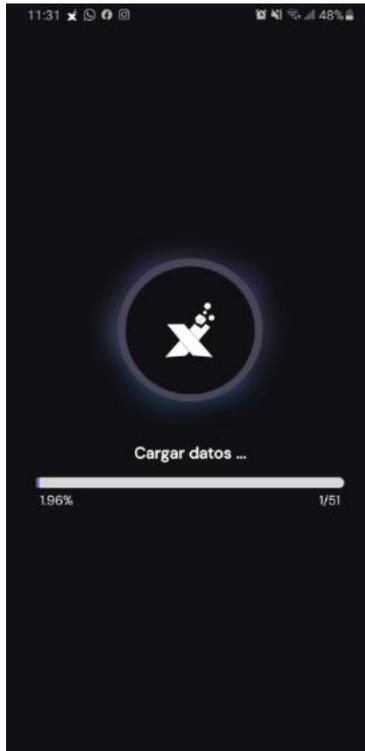


Figura 33 Pantalla de Procesamiento de xOne

Una vez finalizada la captura, la aplicación redirige al usuario al modelo generado para su visualización. Además, en la Tabla 8 se presenta información complementaria, incluyendo los tiempos de captura y procesamiento.

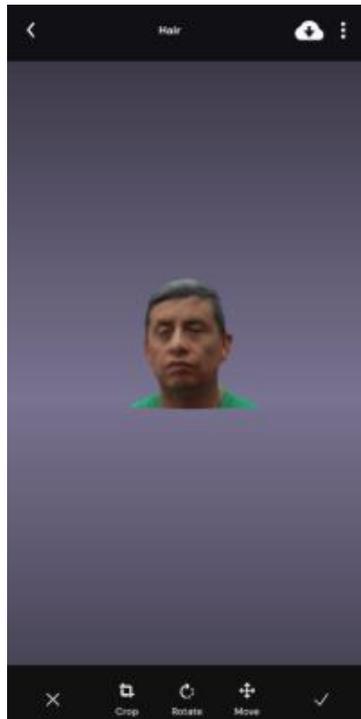


Figura 34 Modelo 3D Generado por xOne

Tabla 8 Tabla de Resultados xOne 3D

Características	
Tiempo de Captura	13 min
Tiempo de procesamiento	18 min
Número de fotos	51

- **Kiri Engine: Escáner 3D**

A diferencia de otras aplicaciones similares, se requiere que los usuarios creen una cuenta antes de comenzar a utilizarla, lo que se puede hacer fácilmente a través de una cuenta de Google. Una vez registrado, el usuario accede a una interfaz amigable que muestra una pantalla principal con los modelos 3D más recientes creados por otros usuarios.

Además, la aplicación cuenta con un menú intuitivo que facilita la creación de nuevos modelos 3D, permitiendo a los usuarios generar modelos a través de imágenes previamente tomadas o con el uso de la fotogrametría que la aplicación brinda como primera opción.

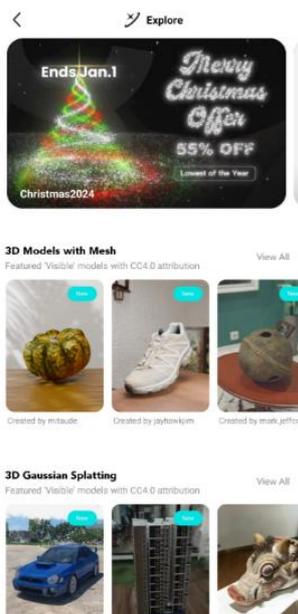


Figura 36 Pantalla de Inicio Kiri Engine

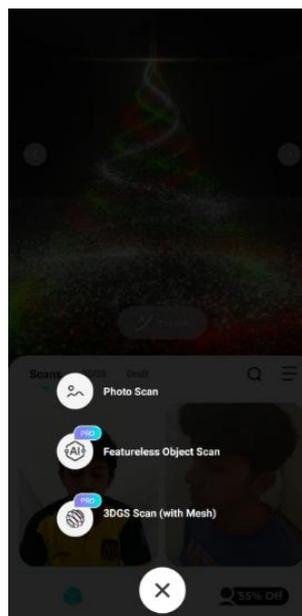


Figura 37 Pantalla para iniciar un nuevo modelo 3D

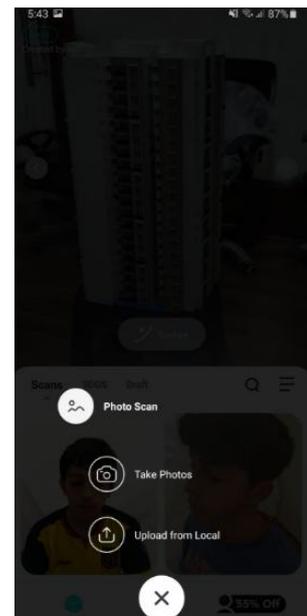


Figura 35 Selección del método para generar el Modelo

Una vez seleccionada la opción para capturar imágenes desde la aplicación, se desplegará en pantalla la vista de la cámara, permitiendo al usuario comenzar a escanear el objeto o sujeto de interés. Además de las fotos, la aplicación ofrece la opción de grabar un video, lo que proporciona una forma adicional de capturar datos y detalles para crear un modelo 3D más preciso y completo.



Figura 38 Pantalla para iniciar la Captura

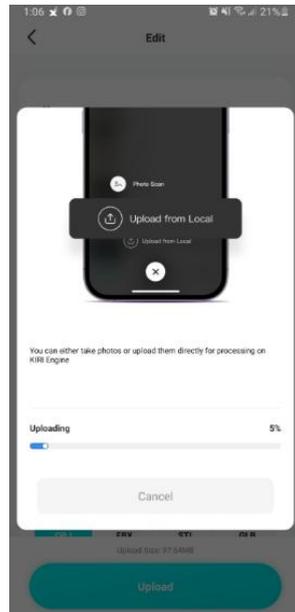


Figura 40 Carga de imágenes en Kiri Engine

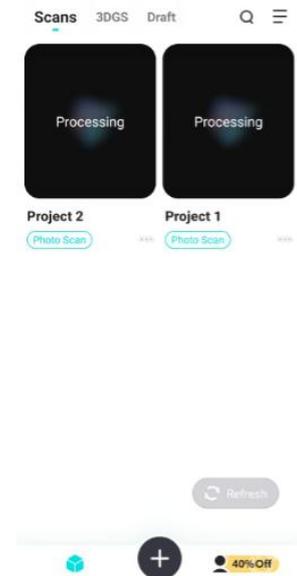


Figura 39 Procesamiento de Kiri Engine

Tras finalizar el proceso, la aplicación activará una nueva sección en el menú principal, donde el usuario podrá visualizar el modelo 3D generado directamente en su interfaz. Esta funcionalidad proporcionará una vista interactiva que permitirá examinar el modelo en detalle y desde distintos ángulos. Asimismo, la Tabla 9 incluye información adicional, como los tiempos de captura y procesamiento.



Figura 41 Modelo 3D generado de Kiri

Tabla 9 Tabla de Resultados Kiri Engine

Características	
Tiempo de Captura	12 min
Tiempo de procesamiento	25 min
Número de fotos	51

- **3D Scanner - Photos to 3D model**

Al iniciar la aplicación por primera vez, los usuarios tienen la posibilidad de generar modelos 3D de cualquier objeto de manera sencilla y flexible. La aplicación ofrece dos opciones principales: capturar directamente desde la interfaz utilizando su sistema basado en fotogrametría, o cargar imágenes previamente capturadas para procesarlas y convertirlas en modelos tridimensionales.

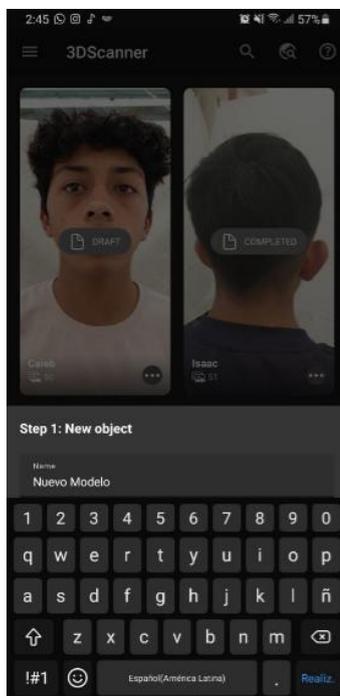


Figura 42 Pantalla Iniciar un nuevo Modelo en 3D Scanner

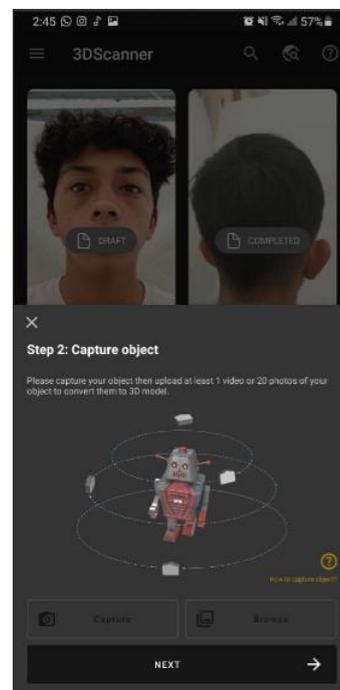


Figura 43 Pantalla de Selección de método para generar el modelo 3D

Esto brinda una gran versatilidad para adaptarse a diferentes necesidades y escenarios. La aplicación tiene una interfaz diseñada para ser sencilla e intuitiva, desde la captura o carga de imágenes hasta la creación del modelo 3D.

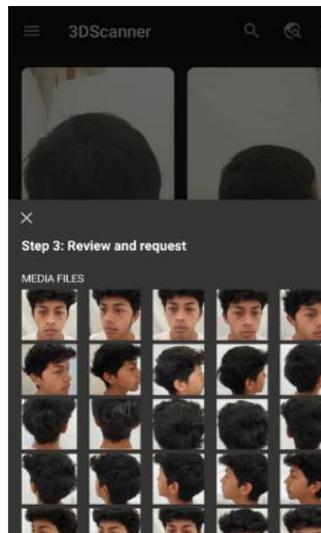


Figura 44 Sección de muestra de las capturas realizadas

Tras la generación del modelo, la aplicación ofrece la posibilidad de exportarlo en diversos formatos, permitiendo su adaptación a las necesidades del usuario, ya sea para su edición en software especializado o para su incorporación en entornos de realidad virtual o aumentada. Además, la Tabla 10 proporciona datos adicionales, como los tiempos de captura y procesamiento.

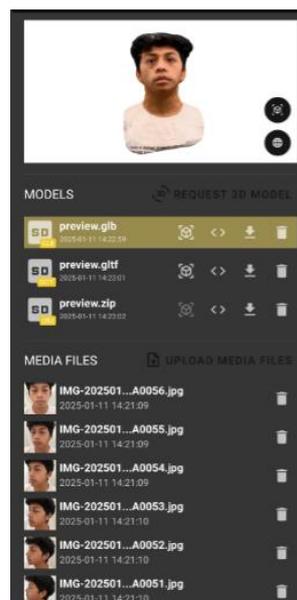


Figura 45 Modelo 3D generado por 3D Scanner

Tabla 10 Tabla de Resultados 3D Scanner

Características	
Tiempo de Captura	10 min
Tiempo de procesamiento	30 min
Número de fotos	51

2.3. Obtención de Modelos

- **Polycam: 3D Scanner & Editor**

En la Tabla 11 se presentan los modelos generados por la aplicación Polycam.

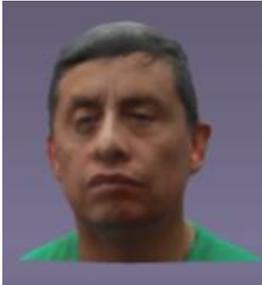
Tabla 11 Modelos 3D Generados Polycam

Modelos 3D		
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3
Adulto de 55 años	Adolescente de 17 años	Niño de 14 años
		

- **xOne: 3D Scanner & 3D Editor**

La Tabla 12 muestra los modelos 3D generados por la aplicación xOne 3D.

Tabla 12 Modelos 3D Generados xOne 3D

Modelos 3D		
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3
Adulto de 55 años	Adolescente de 17 años	Niño de 14 años
		

- **Kiri Engine: Escáner 3D**

La Tabla 13 presenta los modelos 3D generados por la aplicación móvil Kiri Engine.

Tabla 13 Modelos 3D Generados Kiri Engine

Modelos 3D		
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3
Adulto de 55 años	Adolescente de 17 años	Niño de 14 años
		

- **3D Scanner - Photos to 3D model**

En la Tabla 14 se presenta los modelos 3D generados mediante la aplicación móvil 3D Scanner.

Tabla 14 Modelos 3D Generados 3D Scanner - Photos to 3D model

Modelos 3D		
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3
Adulto de 55 años	Adolescente de 17 años	Niño de 14 años
		

2.4. Prototipo de RA

2.4.1. Unity

Unity es un motor de desarrollo especializado en videojuegos, disponible de forma gratuita para quienes inician en la creación de aplicaciones. Su amplia gama de herramientas facilita el diseño y desarrollo de experiencias en Realidad Aumentada, permitiendo integrar funcionalidades avanzadas de manera sencilla [45].

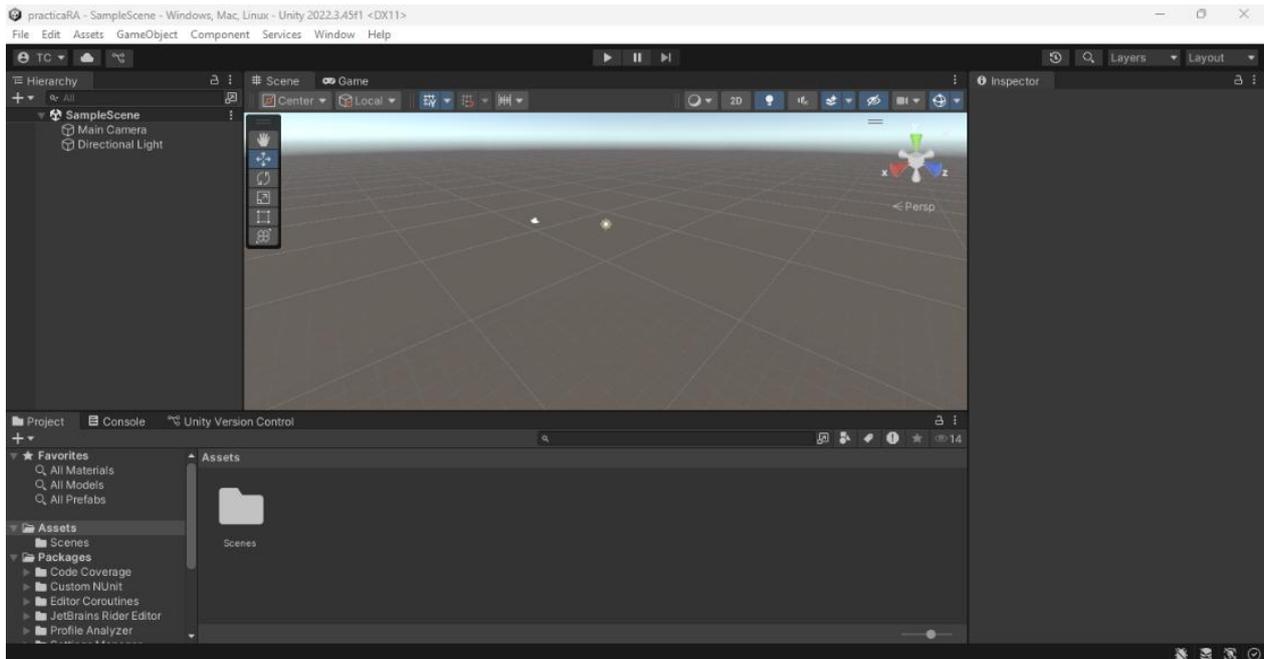


Figura 46 Pantalla Principal de Unity

Además, Unity se ha consolidado como un líder en el ámbito de la realidad virtual, siendo una opción preferida en proyectos relacionados con arquitectura y diseño.

2.4.2. Unity Hub

Según como menciona Rey [46], Unity Hub es una aplicación diseñada para gestionar proyectos desarrollados con Unity de manera eficiente. Facilita la búsqueda, descarga y administración de componentes e instalaciones necesarios para trabajar con el motor.

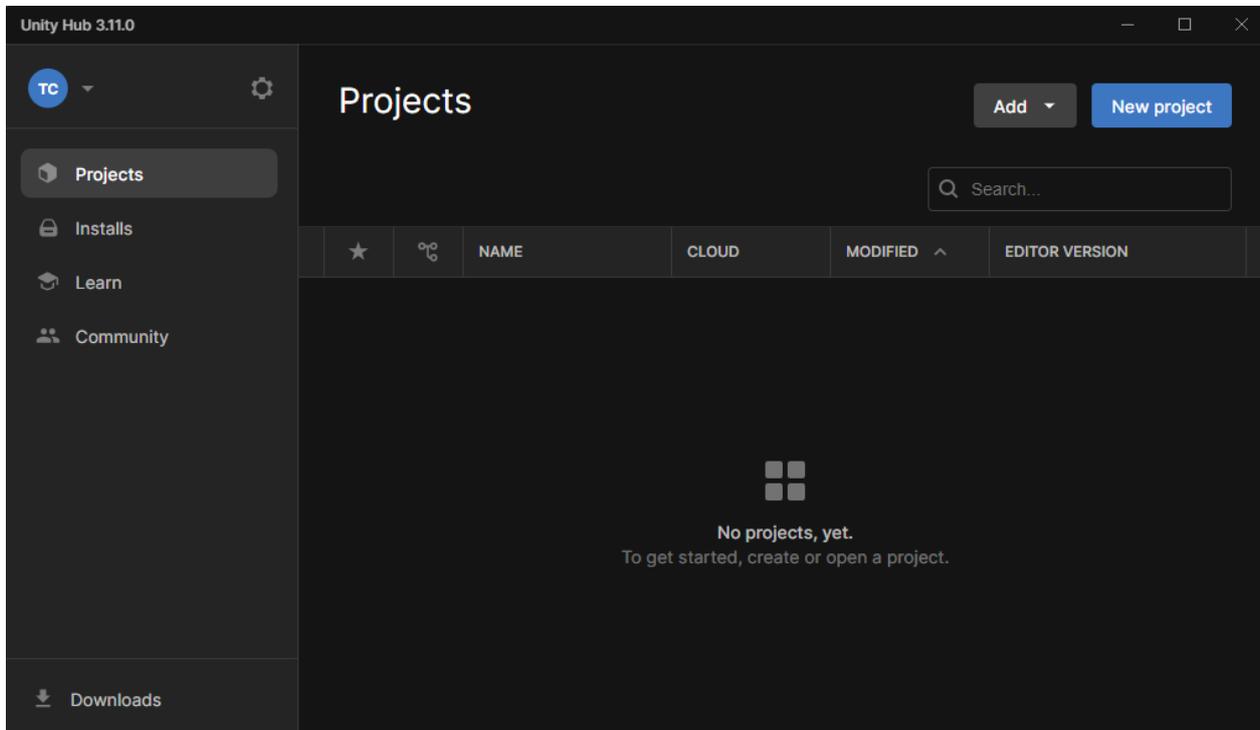


Figura 47 Pantalla Principal Unity Hub

A través de esta herramienta, los usuarios pueden crear nuevos proyectos, acceder a proyectos existentes y, además, incorporar manualmente versiones del Editor que hayan sido instaladas previamente, optimizando así el flujo de trabajo.

2.4.3. Vuforia

Como mencionan los autores en la revista científica [47], Vuforia es un software development kit (SDK) que facilita la creación de aplicaciones para móviles con realidad aumentada (RA).

Su principal ventaja radica en simplificar el código necesario para el desarrollo, ofreciendo características preimplementadas que habilitan la integración de RA a través de las cámaras de dispositivos, independientemente del sistema operativo o tipo de equipo utilizado, como computadoras o teléfonos móviles.

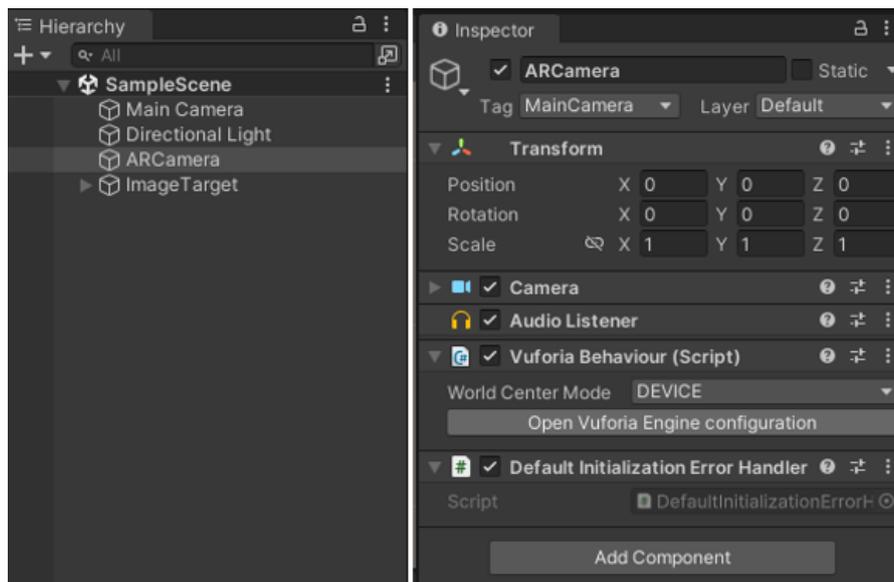


Figura 48 Configuración de Vuforia

Este SDK facilita a los desarrolladores incorporar tecnología de RA en sus proyectos, con aplicaciones potenciales en ámbitos como la educación, donde esta tecnología resulta especialmente atractiva y efectiva para los estudiantes.

2.4.4. Aplicación de RA

Utilizando Unity Hub, una herramienta diseñada para gestionar proyectos de manera eficiente, se creó un nuevo proyecto llamado “practicaRA” empleando la versión 2022.3.45f1 de Unity. Esta plataforma facilitó la configuración inicial, asegurando un entorno de desarrollo óptimo para el trabajo con realidad aumentada.

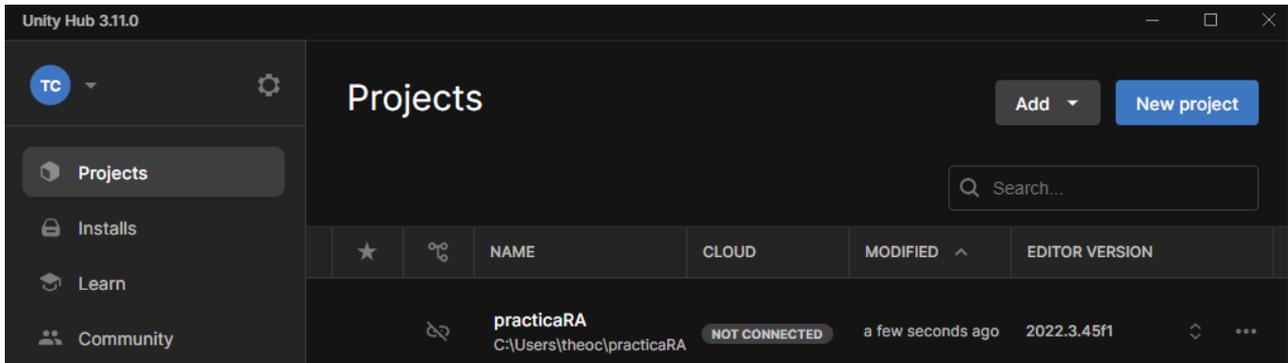


Figura 49 Versión de del proyecto en Unity

La aplicación está diseñada para mostrar los modelos 3D generados por las cuatro aplicaciones analizadas, permitiendo la visualización simultánea de los distintos modelos creados. Esto facilita la comparación directa entre los resultados, ofreciendo a los usuarios una experiencia más interactiva y eficiente para evaluar las diferencias en calidad y precisión de los modelos.



Figura 50 Entorno de Trabajo Unity

Cada vez que se inicie la aplicación, y una vez dentro de ella, se utilizará la cámara del teléfono para enfocar una imagen específica asociada a cada sujeto de prueba. Al reconocer dicha imagen, se cargarán y mostrarán los modelos correspondientes de cada sujeto, permitiendo su visualización y comparación de manera eficiente.



Figura 51 Pantalla de Carga de inicio practicaRA

Para que la aplicación funcione correctamente, Vuforia requiere un ImageTarget, que es una imagen específica utilizada como punto de referencia para la detección y el seguimiento por parte de su motor.

Vuforia Engine identifica y rastrea esta imagen al comparar las características naturales capturadas por la cámara con las almacenadas en una base de datos de objetivos previamente configurada. Este proceso permite integrar elementos virtuales de manera precisa y estable en el entorno real.

Cuando el objetivo de la imagen es detectado, Vuforia Engine realizará el seguimiento de la imagen y ubicará correctamente un objeto en realidad aumentada en el entorno físico [48].

Debido a la capacidad para desarrolladores de Vuforia Engine y a una clave de licencia que se puede crear a través de una cuenta, se puede generar una clave de licencia, es posible utilizar esta herramienta en Unity.

The screenshot shows the Vuforia engine developer portal. The top navigation bar includes 'Home', 'Downloads', 'Library', 'Support', and 'Pricing'. The user is logged in as 'My Account' and can 'Log Out'. The main navigation menu includes 'Account', 'Plan & Licenses', 'Credentials', and 'Target Manager'. The 'Plan & Licenses' section is active, showing the 'Current Plan' as 'Basic Plan'. A sidebar on the left lists 'Add-ons' and 'Other Licenses'. The main content area features a 'Basic Plan' description, an 'Upgrade to Premium' button, and a 'Generate Basic License' link. Below this is a search bar and a table of licenses.

Name	Type	Status	Date Modified
practicaAppVuforia	Basic	Active	Jan 14, 2025

Figura 52 Pantalla Web de Vuforia

Unity facilita la exportación de la aplicación a diversas plataformas, facilitando así su instalación y utilización. En este escenario, se exportó la aplicación para Android con el nombre de practicaRA. Cuando se abre la aplicación en el teléfono, se activa la cámara, que está diseñada para detectar y capturar el objetivo (target).

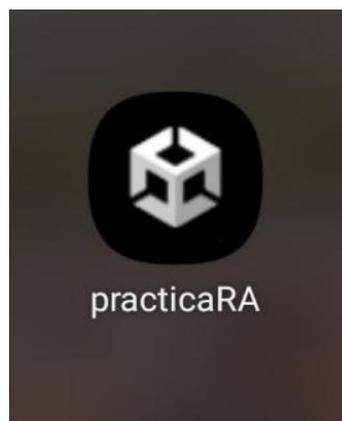


Figura 53 Ícono de la aplicación practicaRA

Finalmente, se podrá visualizar los modelos generados por las aplicaciones para cada uno de los sujetos de prueba, permitiendo que se muestren automáticamente en pantalla.

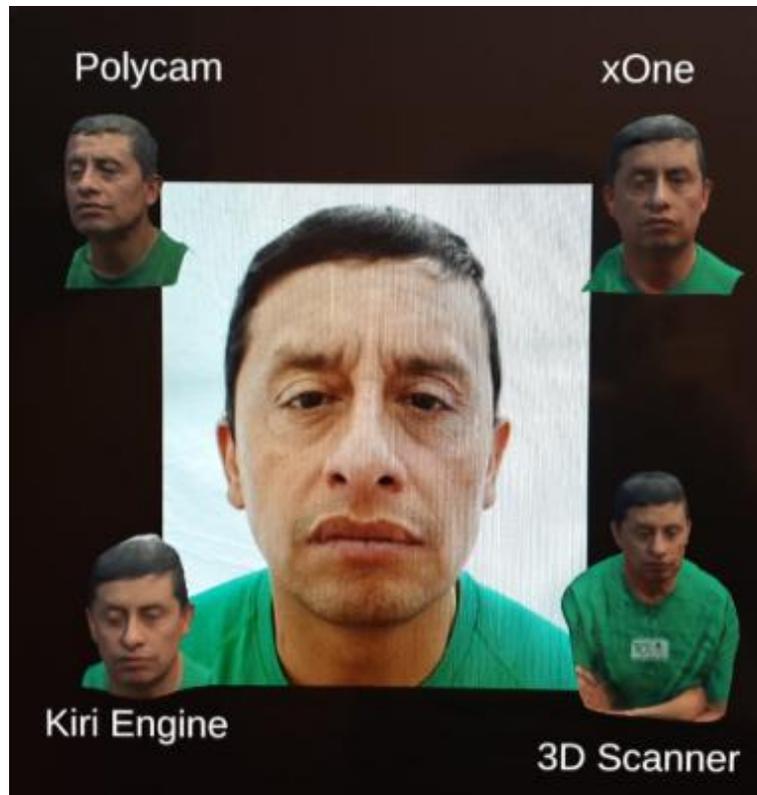


Figura 54 Demostración de la Aplicación

CAPÍTULO III

Validación de Resultados

3.1. Metodología de Evaluación

Para evaluar los resultados obtenidos durante el estudio, es fundamental utilizar una metodología que permita medir cuantitativamente cada objeto generado por las aplicaciones analizadas.

La metodología base para esta evaluación se encuentra descrita en el artículo titulado “Metodología de evaluación cuantitativa de modelos texturados”, este documento propone un enfoque para evaluar y analizar de manera cuantitativa la reconstrucción de modelos texturizados utilizando métodos de mapeo de texturas. La metodología comprende la determinación de varias métricas que determinan la conexión y alineación entre la información tridimensional (3D) y la textura. Estos indicadores pueden ser utilizados tanto en una sola imagen de rango como en un modelo texturizado totalmente reconstruido [49].

Para este estudio, dichas métricas deberán adaptarse cuidadosamente, considerando que las investigaciones originales tienen propósitos, herramientas y desarrollos diferentes. Esta adaptación garantizará la pertinencia y precisión de los resultados en el contexto del presente análisis.

3.1.1. Métricas de Evaluación

- **Densidad**

La densidad en un objeto 3D se refiere al número de píxeles en cada polígono, lo que determina el grado de detalle que la textura aporta al modelo. En este sentido, a mayor densidad, más información y detalle proporciona la textura al objeto 3D.

Resultados

Para calcular la densidad de los modelos 3D, es esencial determinar tanto su área como su volumen. Estos valores fueron obtenidos mediante herramientas especializadas en visualización y análisis de modelos, como 3D Object Converter, cuyos resultados se presentan en la Tabla 15.

La densidad se calcula aplicando la fórmula que relaciona el área con el volumen, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Densidad = \frac{\text{área}}{\text{volumen}}$$

Tabla 15 Densidad de los Modelos

Aplicaciones	Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3
Polycam	49.48	7.34	9.04
xOne	11.89	41.50	9.88
Kiri Engine	24.19	5.58	1.02
3D Scanner	11.45	12.06	7.92

Es relevante señalar que algunos modelos generados por aplicaciones como xOne y Polycam presentan una mayor densidad debido a las diferencias en sus procesos de optimización interna durante la reconstrucción mediante fotogrametría. Cada aplicación emplea algoritmos específicos para mejorar la calidad y el nivel de detalle del modelo 3D, ajustando la cantidad de puntos y la estructura geométrica según sus propias metodologías.

En el caso de Polycam, esta optimización resulta en un modelo más detallado para el sujeto de prueba 1, mientras que en xOne se observa un nivel de detalle superior en los sujetos de prueba 2 y 3.



Figura 55 Modelo 3D de Sujeto de Prueba 1 de Polycam



Figura 57 Modelo 3D de Sujeto de Prueba 3 de xOne



Figura 56 Modelo 3D de Sujeto de Prueba 2 de xOne

- **Número de Texturados sobre el Número de Puntos Visibles**

Esta medida determina el número de puntos que se proyectan en la imagen de intensidad basándose en los datos suministrados por el escáner. Evalúa cuántos de estos puntos forman parte de la textura generada, con valores que varían entre 0% y 100%. Un valor de 0% indica la ausencia de textura, mientras que un 100% representa una textura que cubre completamente el modelo.

Resultados

Es importante señalar que la textura generada a través del escaneo 3D con aplicaciones móviles difiere considerablemente de la obtenida mediante un escáner físico. Aunque el mapa de textura del modelo 3D siempre alcanza un 100%, es crucial tener en cuenta que pueden surgir errores durante el proceso de escaneo. Estos errores no solo afectan al objeto principal, sino que también pueden incluir elementos del entorno o del escenario en el que se encuentra ubicado, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16 Polígonos y UV Polígonos

Sujetos de Prueba						
Aplicación	Adulto de 55 años		Adolescente de 17 años		Niño de 14 años	
	Polígono	UV Polígono	Polígono	UV Polígono	Polígono	UV Polígono
Polycam	35472	35472	49999	49999	43352	43352
xOne	18587	18587	28256	28256	20507	20507
Kiri Engine	64257	64257	234316	234316	465385	465385
3DScanner	24999	24999	15639	15639	24999	24999

- **Diferencia de Formas y Comparación de Contornos con Medida de Distancia**

Esta medida se emplea para examinar la discrepancia entre los bordes del objeto inicial y los del modelo en 3D. Es particularmente aconsejable emplearla en elementos con formas y contornos claros. Su objetivo principal es

llevar a cabo una comparación exacta entre las formas o contornos de ambos componentes.

Resultados

Para esta métrica, se utilizó el lenguaje de programación Python junto con librerías como OpenCV y Numpy, implementadas en un entorno de Google Colab. Este enfoque permitió realizar una detección precisa de los contornos en imágenes, comenzando con la conversión de la imagen a escala de grises y la aplicación de un umbral binario para resaltar las áreas clave. Posteriormente, se identificaron los contornos presentes en la imagen y se dibujaron en una nueva capa para facilitar la comparación. El proceso es útil para evaluar la similitud entre el sujeto de Prueba y su modelo digital.

Formas Sujeto de Prueba 1

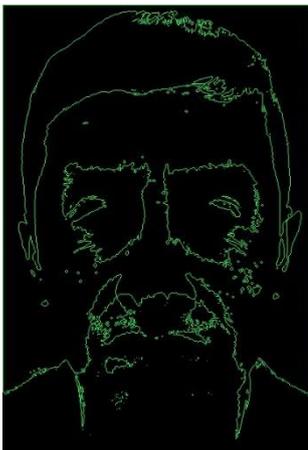


Figura 59 Forma Frontal Sujeto de Prueba 1

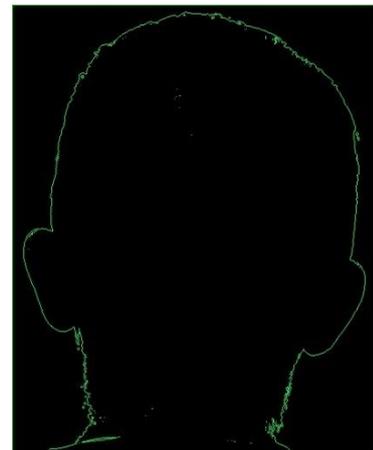


Figura 58 Forma Posterior Sujeto de Prueba 1

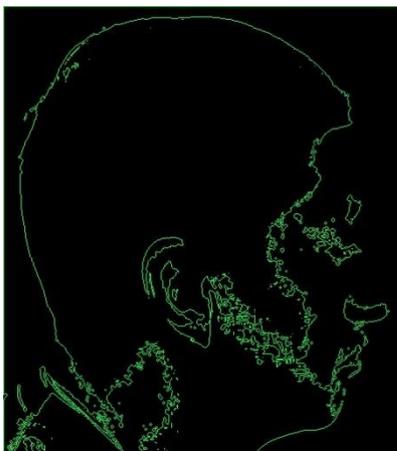


Figura 61 Forma Derecha Sujeto de Prueba 1

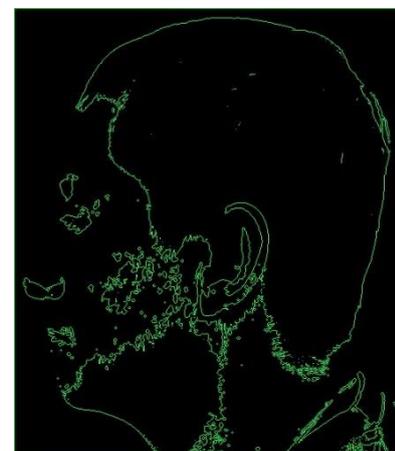


Figura 60 Forma Izquierda Sujeto de Prueba 1

Formas Sujeto de Prueba 2

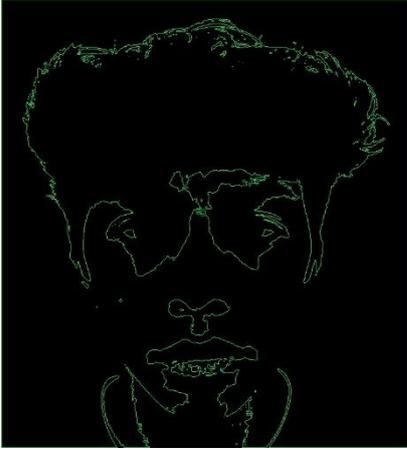


Figura 62 Forma Frontal Sujeto de Prueba 2

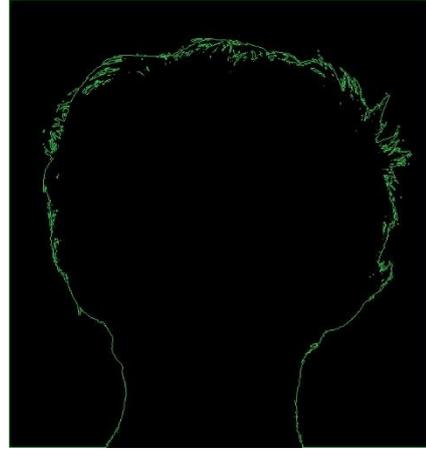


Figura 63 Forma Posterior Sujeto de Prueba 2

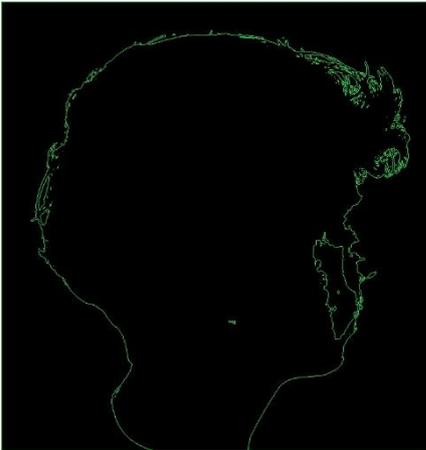


Figura 64 Forma Derecha Sujeto de Prueba 2

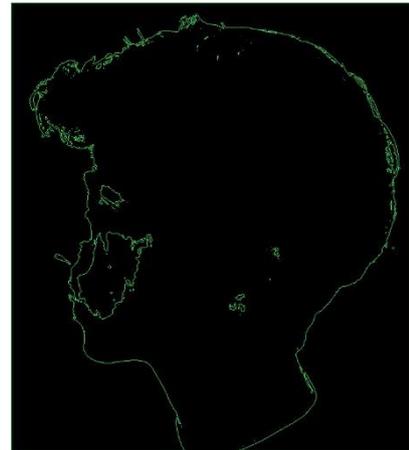


Figura 65 Forma Izquierda Sujeto de Prueba 2

Formas Sujeto de Prueba 3

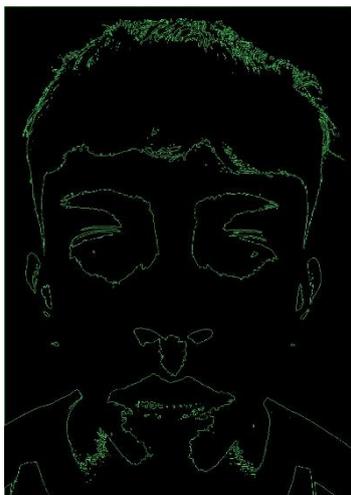


Figura 66 Forma Frontal Sujeto de Prueba 3

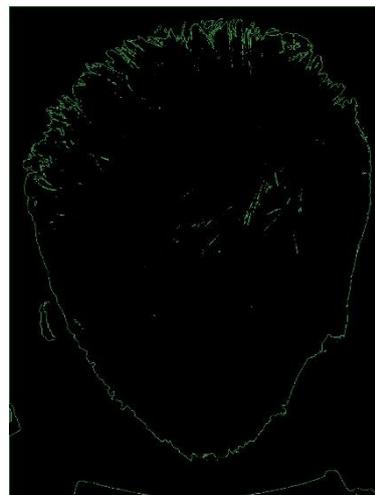


Figura 67 Forma Posterior Sujeto de Prueba 3

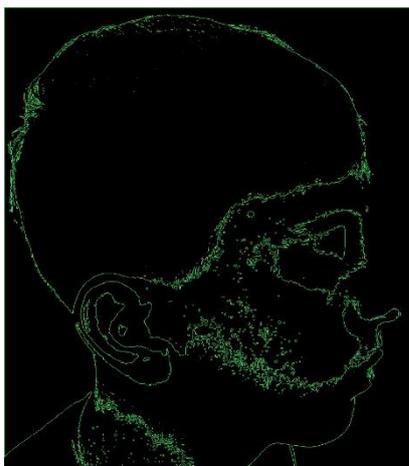


Figura 69 Forma Derecha Sujeto de Prueba 3

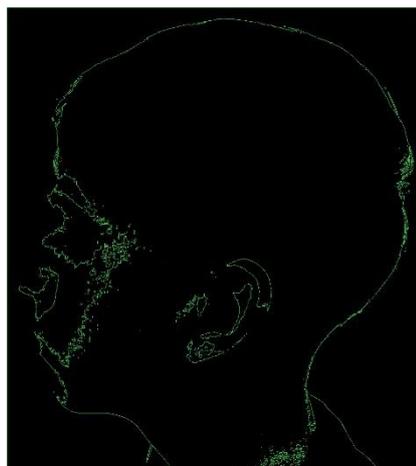


Figura 68 Forma Izquierda Sujeto de Prueba 3

A continuación, se presenta el porcentaje de similitud en las formas de los Sujetos de Prueba en comparación con los modelos generados por las aplicaciones. Es importante destacar que la detección de formas tanto de los sujetos de prueba como de los modelos generados se realizó utilizando un umbral uniforme como parámetro para garantizar la consistencia en el análisis.

Este porcentaje se calculó a partir de la comparación individual de las formas desde diferentes perspectivas (frontal, posterior, lateral derecha e izquierda). A continuación, se obtuvo un promedio de estas comparaciones para cada aplicación, utilizando como referencia las imágenes del modelo y las correspondientes al sujeto de prueba. Los porcentajes resultantes se presentan en las Tablas 17, 18, 19 y 20.

Tabla 17 Porcentaje de Similitud en Forma de Polycam

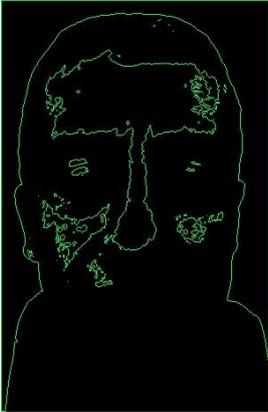
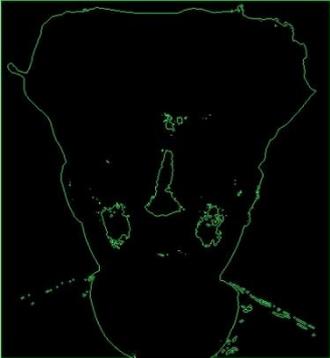
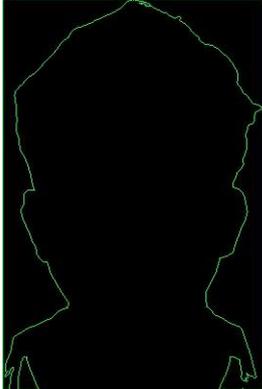
Polycam			
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3	Porcentaje
			Sujeto de Prueba 1: 84.53%
			Sujeto de Prueba 2: 84.33%
			Sujeto de Prueba 3: 72.93%

Tabla 18 Porcentaje de Similitud en Forma de xOne

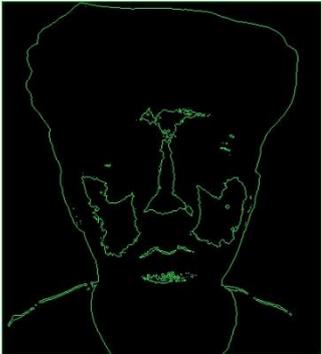
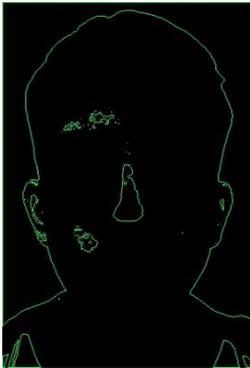
xOne			
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3	Porcentaje
			Sujeto de Prueba 1: 74.17%
			Sujeto de Prueba 2: 83.75%
			Sujeto de Prueba 3: 81.62%

Tabla 19 Porcentaje de Similitud en Forma de Kiri Engine

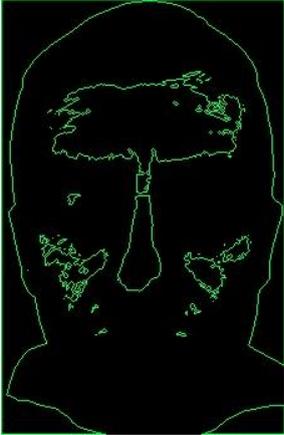
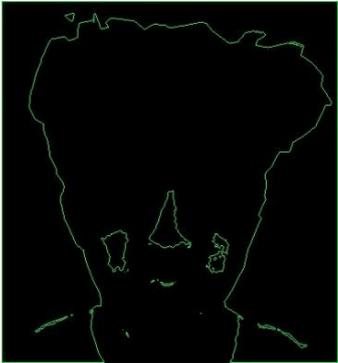
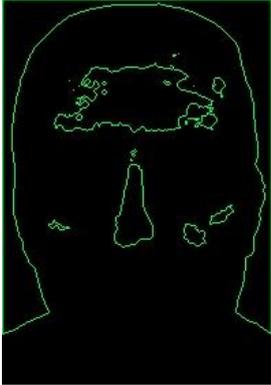
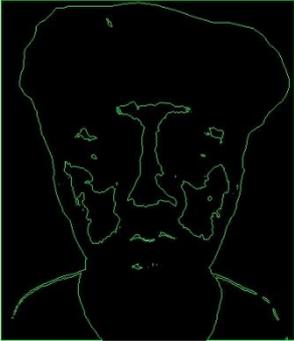
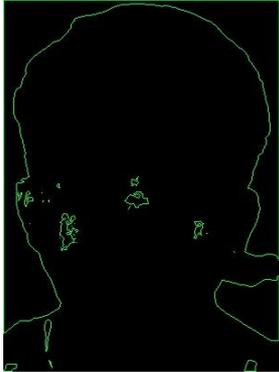
Kiri Engine			
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3	Porcentaje
			<p>Sujeto de Prueba 1: 74.68%</p> <p>Sujeto de Prueba 2: 85.50%</p> <p>Sujeto de Prueba 3: 82.13%</p>

Tabla 20 Porcentaje de Similitud en Forma de 3DScanner

3DScanner			
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3	Porcentaje
			<p>Sujeto de Prueba 1: 75.03%</p> <p>Sujeto de Prueba 2: 83.92%</p> <p>Sujeto de Prueba 3: 70.41%</p>

- **Comparación de Variación de la Curvatura del Modelo con los Bordes de la Textura utilizando Medida de Distancia**

Esta métrica, al igual que la anterior, se basa en comparar las curvas y los detalles del objeto real con su modelo 3D. Sin embargo, a diferencia de la anterior, considera todos los rasgos y curvas del objeto, y no se limita únicamente a los bordes o contornos.

Resultados

De manera similar, se empleó el lenguaje Python junto con las librerías OpenCV e Imutils para llevar a cabo la identificación precisa de los bordes del sujeto de prueba, utilizando técnicas como la conversión a escala de grises, el desenfoque Gaussiano y el detector de bordes Canny.

Posteriormente, se aplicaron procesos de dilatación y erosión para mejorar la calidad de los bordes detectados. Esto permite obtener una representación visual detallada del contorno del sujeto de prueba en cuestión, que puede ser utilizada para comparar con los modelos 3D generados y evaluar su precisión.

Formas Sujeto de Prueba 1



Figura 71 Contorno Frontal Sujeto de Prueba 1



Figura 70 Contorno Posterior Sujeto de Prueba 1



Figura 73 Contorno Derecho Sujeto de Prueba 1

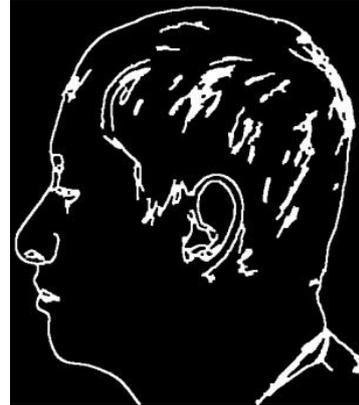


Figura 72 Contorno Izquierdo Sujeto de Prueba 1

Formas Sujeto de Prueba 2



Figura 74 Contorno Frontal Sujeto de Prueba 2



Figura 75 Contorno Posterior Sujeto de Prueba 2



Figura 76 Contorno Derecho Sujeto de Prueba 2



Figura 77 Contorno Izquierdo Sujeto de Prueba 2

Formas Sujeto de Prueba 3



Figura 79 Contorno Frontal Sujeto de Prueba 3



Figura 78 Contorno Posterior Sujeto de Prueba 3



Figura 81 Contorno Derecho Sujeto de Prueba 3



Figura 80 Contorno Izquierdo Sujeto de Prueba 3

A continuación, se presenta el análisis de los bordes detectados en los sujetos de prueba en comparación con los modelos generados por las aplicaciones móviles. Este proceso empleó técnicas avanzadas, como el detector de bordes Canny ajustado con un único conjunto de parámetros, complementado con refinamientos mediante dilatación y erosión para mejorar la precisión de los contornos.

Los resultados se obtuvieron mediante la comparación individual de los bordes detectados desde diversas perspectivas (frontal, posterior, lateral derecha e izquierda), lo que permitió realizar una evaluación exhaustiva de la calidad y precisión de los modelos 3D generados. Estos resultados se detallan en las Tablas 21, 22, 23 y 24.

Tabla 21 Porcentaje en Similitud en Curvas de Polycam

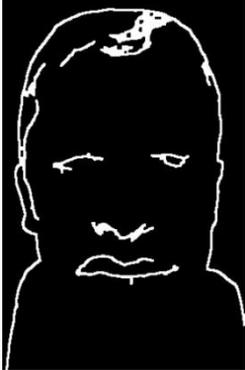
Polycam			
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3	
			Sujeto de Prueba 1: 68.71%
			Sujeto de Prueba 2: 70.78%
			Sujeto de Prueba 3: 47.11%

Tabla 22 Porcentaje en Similitud en Curvas de xOne

xOne			
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3	
			Sujeto de Prueba 1: 67.15%
			Sujeto de Prueba 2: 68.23%
			Sujeto de Prueba 3: 64.96%

Tabla 23 Porcentaje en Similitud en Curvas de Kiri Engine

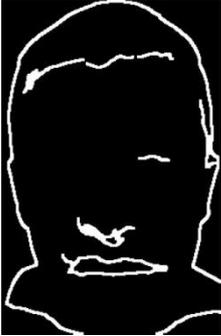
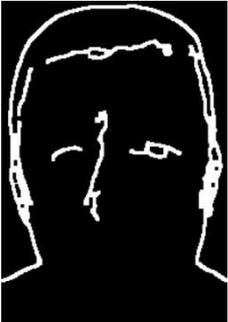
Kiri Engine			
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3	
			Sujeto de Prueba 1: 69.16%
			Sujeto de Prueba 2: 73.35%
			Sujeto de Prueba 3: 64.61%

Tabla 24 Porcentaje en Similitud en Curvas de 3DScanner

3DScanner			
Sujeto de Prueba 1	Sujeto de Prueba 2	Sujeto de Prueba 3	
			Sujeto de Prueba 1: 67.92%
			Sujeto de Prueba 2: 71.26%
			Sujeto de Prueba 3: 44.32%

Finalmente, se muestra un resumen de los tiempos utilizados por las aplicaciones en la Tabla 25, junto con los resultados logrados después de aplicar la métrica adecuada, los cuales se describen en la Tabla 26.

Tabla 25 Tiempo empleado por las Aplicaciones

Aplicación	Tiempo de Captura	Tiempo de Procesamiento	Total
Polycam	10 min	15 min	25 min
xOne	13 min	18 min	31 min
Kiri Engine	12 min	25 min	37 min
3DScanner	10 min	30 min	40 min

Tabla 26 Resumen de las Métricas

Características	Aplicación											
	Polycam			xOne			Kiri Engine			3DScanner		
	SP1	SP2	SP3	SP1	SP2	SP3	SP1	SP2	SP3	SP1	SP2	SP3
Densidad	49.48	7.34	9.04	11.89	41.50	9.88	24.19	5.58	1.02	11.45	12.06	7.92
Puntos Texturados	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Contornos	84.53%	84.33%	72.93%	74.17%	83.75%	81.62%	74.68%	85.50%	82.13%	75.03%	83.92%	70.41%
Bordes de Textura	68.71%	70.78%	47.11%	67.15%	68.23%	64.96%	69.16%	73.35%	64.61%	67.92%	71.26%	44.32%

3.2. Análisis de Impacto

Este estudio lleva a cabo un análisis integral del impacto a nivel social y tecnológico, evaluando diversos factores relacionados con ambos ámbitos. Estos aspectos se consideran esenciales para determinar si los resultados del estudio generan una influencia positiva o negativa en dichas áreas.

- **Impacto Social**

El impacto de la realidad aumentada en la sociedad es considerable, dado que modifica áreas fundamentales como la educación, la salud y el turismo a través de proyectos y aplicaciones creados para mejorar procesos estratégicos.

Uno de los campos destacados es la publicidad, donde la combinación de la capacidad para escanear objetos, convertirlos en modelos 3D y emplear la RA ofrece experiencias más inmersivas e innovadoras. Esta integración no solo enriquece la interacción, sino que también genera un impacto profundo y memorable en los consumidores.

- **Impacto Tecnológico**

Este estudio amplía el conocimiento existente al facilitar la identificación de instrumentos tecnológicos, como aplicaciones móviles enfocadas en la captura de imágenes y su transformación en objetos en 3D. Esto proporciona una opción innovadora frente a las técnicas convencionales, como las aplicaciones de escritorio, al capitalizar el potencial de tecnologías en auge como la realidad aumentada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- **Conclusiones**

Durante la investigación de las aplicaciones disponibles en la plataforma Play Store, se identificaron varios aspectos importantes a tener en cuenta. Por ejemplo, aplicaciones como 3DScanner permiten generar modelos 3D, pero no ofrecen opciones para realizar ediciones posteriores, como recortar o modificar el modelo generado. Además, gracias a los filtros de búsqueda y las valoraciones de los usuarios, es posible seleccionar y clasificar las aplicaciones de acuerdo con sus características y desempeño.

El análisis comparativo de las aplicaciones disponibles en la plataforma Play Store para la generación de modelos 3D de cabezas humanas ha permitido identificar diferencias significativas en su desempeño, precisión y consistencia. A partir de los resultados obtenidos en las métricas de similitud de forma, similitud en curvas y análisis de densidad, se ha determinado que la aplicación Kiri Engine es la mejor opción para la generación de modelos 3D de cabezas humanas, al presentar el mayor promedio de precisión en los diferentes parámetros evaluados.

En la similitud de forma, Kiri Engine obtuvo el mejor promedio general con un 80.77%, seguida de Polycam (80.59%) y xOne (79.84%). Por otro lado, 3D Scanner tuvo el desempeño más bajo, con un 76.46%, lo que indica dificultades en la captura precisa de la forma general de los modelos.

En la similitud en curvas, Kiri Engine también lideró con un promedio del 69.04%, demostrando su capacidad para capturar detalles finos con mayor precisión. Le siguieron xOne (66.78%) y Polycam (62.20%), mientras que 3D Scanner obtuvo el menor rendimiento (61.17%), evidenciando limitaciones en la captura de detalles curvos y bordes.

Para determinar la aplicación más precisa, se calculó el promedio entre los porcentajes de similitud en forma y similitud en curvas. Los resultados confirmaron que Kiri Engine lidera con un 74.90%, seguida de xOne (73.31%) y Polycam (71.40%). En contraste, 3D Scanner obtuvo el rendimiento más bajo

(68.81%), reafirmando sus limitaciones en la representación precisa de los modelos.

El análisis de densidad reveló que las aplicaciones mostraron variabilidad en la relación entre área y volumen, lo que puede influir en la calidad del modelo final. xOne se destacó por su consistencia en la generación de modelos con densidad equilibrada, mientras que Kiri Engine presentó valores atípicos en el Sujeto de Prueba 3, lo que requiere una investigación adicional. Polycam y xOne generaron modelos con mayor densidad en algunos casos, lo que podría traducirse en una mejor calidad de detalles en ciertas condiciones.

Los resultados obtenidos validan la importancia de seleccionar la aplicación adecuada según los requerimientos específicos del usuario. Si bien Kiri Engine ofrece la mayor precisión general, xOne también presenta un rendimiento sólido y estable. Polycam es una buena opción para la captura de forma general, pero con limitaciones en detalles finos. Por otro lado, 3D Scanner se posiciona como la aplicación con menor precisión en la generación de modelos 3D de cabezas humanas.

Finalmente, la aplicación de una metodología cuantitativa permitió una evaluación objetiva de la precisión de los modelos 3D generados, y los resultados obtenidos demuestran que Kiri Engine es la mejor aplicación en la Play Store para la generación de modelos 3D de cabezas humanas en entornos de realidad aumentada.

- **Recomendaciones**

Para la creación de aplicaciones de Realidad Aumentada (RA), es aconsejable emplear herramientas como Vuforia y Unity, dado que estas dos plataformas brindan un extenso abanico de funciones y alternativas que son muy beneficiosas para los programadores. Su implementación es relativamente sencilla, y la documentación detallada está disponible en los sitios web oficiales, lo que facilita el aprendizaje y la integración de estas tecnologías en los proyectos.

Es importante destacar que cuantos más ángulos y fotos se capturen del modelo dentro de la aplicación, mejor será la calidad del modelo final. La captura

de imágenes desde diversas perspectivas contribuye significativamente a mejorar la precisión y detalle del modelo 3D.

Cuando se trata de generar modelos específicamente de personas, se debe prestar especial atención al entorno. Es recomendable elegir un espacio libre de objetos o crear un área despejada para evitar que la aplicación detecte elementos no deseados, lo que podría afectar negativamente la calidad del modelo una vez completado el proceso de procesamiento.

Además, es crucial contar con una conexión a internet estable, ya que la calidad y velocidad de la red influirán en el tiempo de espera para obtener los modelos procesados.

Por último, para obtener resultados consistentes y precisos, es fundamental aplicar las mismas condiciones de iluminación y número de fotografías en todas las capturas. Esto asegurará que el modelado 3D sea uniforme y no se vean alterados los modelos al momento de ser digitalizados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. Saavedra, “¿Qué es el modelado 3D y cómo funciona?” [Online]. Available: <https://ebac.mx/blog/que-es-el-modelado-3d>
- [2] A. de Mauro, “Crea modelos 3D de forma sencilla con esta aplicación para Android.” [Online]. Available: <https://www.aplicacionesparamoviles.com/aplicacion-crear-modelos-3d-scann3d-android/>
- [3] Sergi, “¿Qué es la fotogrametría para escanear objetos 3D?” [Online]. Available: <https://proyectoscad.com/blog/que-es-la-fotogrametria-para-escanear-objetos-3d/>
- [4] ONU, “Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.” [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- [5] A. T. De La Cruz Muenala, “Estudio de aplicaciones que convierten cuerpos sólidos en objetos 3D para su aplicación en realidad aumentada,” Trabajo de Tesis, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12349/2/04%20ISC%20617%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- [6] N. Puente Díaz, “Generación de DICOM-CT de lechos quirúrgicos mediante el escaneado y procesado 3D con dispositivos móviles,” Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Cantabria, Cantabria, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/30080>
- [7] O. C. Quispe Enriquez, “Evaluación comparativa de modelos craneofaciales 3D mediante dispositivos móviles y fotogrametría,” Trabajo Fin de Máster, Universitat Politècnica de València, València, 2023. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/197702/Quispe%20-%20Evaluacion%20comparativa%20de%20modelos%203D%20craneofaciales%20utilizando%20dispositivos%20moviles%20y%20fo....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [8] Á. Ajenjo Jurado, “Desarrollo de una Aplicación Móvil en Unity 3D con una API ARCore de Realidad Aumentada Orientada al Entretenimiento Infantil,” Trabajo Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2022. [Online]. Available: https://oa.upm.es/69834/1/TFG_ALVARO_AJENJO_JURADO.pdf
- [9] B. Miranda García, L. Martínez-García, and M. A. Ojeda-Misses., “Desarrollo de una aplicación móvil de realidad aumentada para la visualización de prendas en la industria textil,” *Pädi*, 2024, [Online].

Available:

<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/12164/1110>

- [10] Quispe Italo, “¿Qué es el modelado 3D?,” Arcux. [Online]. Available: <https://arcux.net/blog/que-es-el-modelado-3d/>
- [11] “3D MODELING. FEATURES, TYPES AND MORE,” Kefren. [Online]. Available: <https://grupokefren.com/en/design/3d-modeling/>
- [12] Baean John, “Digitalización 3D: su historia y futuro,” Europeana. [Online]. Available: <https://www.europeana.eu/es/stories/3d-digitisation-its-history-and-future>
- [13] “Evolución y nuevos tipos de tecnología 3D,” iNUBA. [Online]. Available: <https://inuba.com/blog/evolucion-tipos-tecnologia-3d/>
- [14] Cortés Jonatan, “Historia de la Animación 3D | El Origen de Pixar,” notodoanimation.es. [Online]. Available: <https://www.notodoanimacion.es/historia-de-la-animacion-3d-pixar/>
- [15] C. R. Lannes, M. A. Pupio, and N. Mazzia, “La fotogrametría en las estrategias de comunicación: análisis del uso de modelos 3D en la Arqueología bonaerense,” *Revista del Museo de Antropología*, vol. 17, no. 1, pp. 331–346, Apr. 2024, doi: 10.31048/1852.4826.v17.n1.43541.
- [16] “Vista de Realidad aumentada y modelado 3d aplicado en programas de televisión transmitidos desde los estudios de radiotelevisión de Veracruz-México.” Accessed: Jul. 10, 2024. [Online]. Available: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/5438/8229>
- [17] B. Parra Garnica and J. M. Orellana, “Modelo 3D para el aprendizaje del Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado: revisión sistemática de literatura 3D model for Learning the Uniformly Accelerated Rectilinear Motion: systematic literature review.” [Online]. Available: <https://congresos.unae.edu.ec/index.php/vcongresoeducacion/article/view/1857/572>
- [18] Rodrigo Ricardo, “Objetos 2D y 3D: propiedades y relaciones,” Estudyando. [Online]. Available: <https://estudyando.com/objetos-2d-y-3d-propiedades-y-relaciones/>
- [19] G. Olmedo López and R. A. Torrico Irahola, “Realidad aumentada y modelado 3d aplicado en programas de televisión transmitidos desde los estudios de radiotelevisión de Veracruz-México,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 2, pp. 1798–1815, Apr. 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i2.5438.

- [20] E. García, “Cómo será el futuro de la impresión 3D en las empresas,” *Thinking for Innovation*, Mar. 2023, [Online]. Available: <https://www.iebschool.com/blog/futuro-impresion-3d-empresas-innovacion/>
- [21] Sumoso Ernie, “TÉCNICAS DE REPRESENTACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE OBJETOS 3D EN EL COMPUTADOR: UNA REVISIÓN DE LITERATURA,” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima, 2020. [Online]. Available: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18274/SUMOSO_VICU%c3%91A_ERNIE_T%c3%89CNICAS_REPRESENTACION%c3%93N_RECONSTRUCCI%c3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [22] Bartolome, “Obtención de las vistas de un objeto,” *dibujotecnico.com*. [Online]. Available: <https://dibujotecnico.com/obtencion-de-las-vistas-de-un-objeto/>
- [23] Sáez Martínez Pedro, “¿Qué es la Realidad Aumentada?,” *Onirix*. [Online]. Available: <https://www.onirix.com/es/aprende-sobre-ra/que-es-la-realidad-aumentada/>
- [24] “Realidad Aumentada, Qué es y qué aplicaciones tiene?,” *edsrobotics*. [Online]. Available: <https://www.edsrobotics.com/blog/realidad-aumentada-que-es/>
- [25] “¿Cuáles son las diferencias entre realidad virtual y realidad aumentada?,” *Inesdi*. [Online]. Available: <https://www.inesdi.com/blog/realidad-aumentada-y-realidad-virtual-diferencias/>
- [26] “La Interacción entre Realidad Virtual y Realidad Aumentada,” *CDETECH*. [Online]. Available: <https://cdetech.org/la-interaccion-entre-realidad-virtual-y-realidad-aumentada/>
- [27] H. González Oneto, Y. Moreno Yáñez, and M. D’Andrea Pincheira, “Immersive virtual reality as a complement in dental education: An implementation process for teaching,” *Educacion Medica*, vol. 25, no. 5, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.edumed.2024.100931.
- [28] “Crean una tecnología que genera cabezas humanas en 3D a partir de solo tres imágenes,” *LA RAZON*. [Online]. Available: <https://www.larazon.es/sociedad/20211220/ks6mbrjbw5dfnoihv2nawi25qe.html>
- [29] Wajjari Anas, “Modelado 3D de una escultura mediante Fotogrametría de Objeto Cercano,” Trabajo de Fin de Grado, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, València, 2023. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/197932/Wajjari%20->

- %20Modelado%203D%20de%20una%20escultura%20mediante%20Fotogrametría%20de%20Objeto%20Cercano.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [30] Zuza Mikolas, “Photogrammetry - 3D scanning with just your phone/camera,” Original Prusa 3D Printers. [Online]. Available: https://blog.prusa3d.com/photogrammetry-3d-scanning-just-phone-camera_7811/
- [31] “¿Cómo funciona la fotogrametría?,” Escuela y Postgrado de La Ingeniería y Arquitectura. [Online]. Available: https://postgradoingenieria.com/como-funciona-fotogrametria/#Como_se_utiliza_la_fotogrametria
- [32] Mubanga Kanyanta, “Qué es la fotogrametría,” Artec3D. [Online]. Available: <https://www.artec3d.com/es/learning-center/what-is-photogrammetry>
- [33] Enríquez Gross, “INTEGRACIÓN ENTRE FOTOGRAMETRÍA AÉREA Y CONSERVACIÓN VIAL EN LA CARRETERA CENTRAL ST01: PUENTE RICARDO PALMA - LA OROYA,” Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Huancayo, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/10915/T010_72020031_M.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- [34] Chirivella Amparo, “Fotogrametría, qué es y para que se utiliza,” Profesional Review. [Online]. Available: https://www.profesionalreview.com/2022/01/26/fotogrametria-que-es-y-para-que-se-utiliza/#Diferentes_tipos_de_fotogrametria
- [35] Bermeo Cabrera Víctor Fernando and Martínez Macancela Juan Sebastián, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRECISIÓN Y EFICIENCIA DE TECNOLOGÍAS TOPOGRÁFICAS PARA LEVANTAMIENTOS: FOTOGRAMETRÍA Y LIDAR AEROTRANSPORTADO CON DRON Y RECEPTOR GNSS (MODO RTK), APLICADO AL PARQUE EL PARAÍSO DE LA CIUDAD DE CUENCA,” Tesis, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Cuenca, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26953/4/UPS-CT011168.pdf>
- [36] “Fotogrametría Terrestre y Aérea,” gruasyaparejos. [Online]. Available: <https://gruasyaparejos.com/topografia/fotogrametria-terrestre/>
- [37] Hanaphy Paul, “Las mejores aplicaciones para escaneo 3D,” Artec3D. [Online]. Available: <https://www.artec3d.com/es/learning-center/best-3d-scanner-apps>
- [38] “¿Qué es LiDAR?,” Artec3D. [Online]. Available: <https://www.artec3d.com/es/learning-center/what-is-lidar>

- [39] “Fotogrametría vs. LIDAR: qué sensor elegir para una aplicación determinada,” Wingtra. [Online]. Available: <https://wingtra.com/es/dron-fotogrametria-vs-lidar/>
- [40] Imas, “LiDAR: principio de funcionamiento y principales aplicaciones,” Pyroistech. [Online]. Available: <https://www.pyroistech.com/es/lidar-es/>
- [41] Baek N., Shin W. S., and Kim K. J., “Funcionamiento del LIDAR aéreo,” Download Scientific Diagram. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Funcionamiento-del-LIDAR-aereo-Baek-N-Shin-W-S-Kim-K-J-2017_fig1_355008696
- [42] “¿Cómo funciona el LiDAR?,” YellowScan. [Online]. Available: <https://www.yellowscan.com/es/knowledge/how-does-lidar-work/>
- [43] “Comprender los escáneres LiDAR,” YellowScan. [Online]. Available: <https://www.yellowscan.com/es/knowledge/understanding-lidar-scanners/>
- [44] “Samsung GalaxyS9 Plus.” [Online]. Available: https://univexim.com/4449-thickbox_default/samsung-galaxy-s9-g965f-sunrise-gold.jpg
- [45] “Plataforma de desarrollo en tiempo real Unity | Motor 3D, 2D, VR y AR.” [Online]. Available: <https://unity.com/es>
- [46] B. Rey Solaz, “Unity: Creación de un proyecto 3D nuevo,” 2024, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/212739>
- [47] L. René Quisaguano Collaguazo, G. Geoconda Esquivel Paula, M. del Rosario Quisaguano Collaguazo, W. Santiago Esquivel Paula, S. Rodríguez, and B. El Ejido Sector San Felipe, “Realidad aumentada con Unity y Vuforia para mejorar la experiencia educativa,” *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, vol. 73, pp. 442–458, Sep. 2024, [Online]. Available: <https://www.proquest.com/openview/8f7f3b6b80fff35c56c7d3f13428c71a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- [48] “Image Targets | Vuforia Library.” Accessed: Dec. 29, 2024. [Online]. Available: <https://developer.vuforia.com/library/objects/image-targets>
- [49] J. Hernandez and F. Prieto, “METHODOLOGY OF QUANTITATIVE EVALUATION OF TEXTURE MODELS,” *Año*, vol. 74, pp. 115–124, 2007, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49615113.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: Cálculo de la densidad

Cálculo de la Densidad				
Sujeto de Prueba 1		Área	Volumen	Resultado
	Polycam	0.14745	0.00298	49.48
	xOne	1.324435	0.111393	11.89
	Kiri Engini	0.411117	0.016998	24.19
	3D Scanner	2.726638	0.238154	11.45
Sujeto de Prueba 2		Área	Volumen	Resultado
	Polycam	4.402228	0.599451	7.34
	xOne	0.162749	0.003922	41.50
	Kiri Engini	18.24007	3.269542	5.58
	3D Scanner	2.220623	0.184119	12.06
Sujeto de Prueba 3		Área	Volumen	Resultado
	Polycam	3.095408	0.342412	9.04
	xOne	1.920284	0.194452	9.88
	Kiri Engini	248.782404	244.026957	1.02
	3D Scanner	6.730182	0.849714	7.92

ANEXO B: Descripción de los Polígonos & UV

Descripción de Polígonos & UV									
Polycam									
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #1	Sujeto de Prueba 1	20207	0	20207	0	35472	35472	3	3
Total		20207	0	20207	0	35472	35472	3	3
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #2	Sujeto de Prueba 2	29334	0	29334	0	49999	49999	3	3
Total		29334	0	29334	0	49999	49999	3	3
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #3	Sujeto de Prueba 3	25034	0	25034	0	43352	43352	3	3
Total		25034	0	25034	0	43352	43352	3	3

Descripción de Polígonos & UV									
xOne									
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #1	Sujeto de Prueba 1	10284	0	10284	0	18587	18587	3	3
Total		10284	0	10284	0	18587	18587	3	3
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #2	Sujeto de Prueba 2	15459	0	15459	0	28256	28256	3	3
Total		15459	0	15459	0	28256	28256	3	3
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #3	Sujeto de Prueba 3	11089	0	11089	0	20507	20507	3	3
Total		11089	0	11089	0	20507	20507	3	3

Descripción de Polígonos & UV									
Kiri Engine									
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #1	Sujeto de Prueba 1	33370	0	33370	0	64257	64257	3	3
Total		33370	0	33370	0	64257	64257	3	3
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #2	Sujeto de Prueba 2	132846	0	132846	0	234316	234316	3	3
Total		132846	0	132846	0	234316	234316	3	3
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #3	Sujeto de Prueba 3	248455	0	248455	0	465385	465385	3	3
Total		248455	0	248455	0	465385	465385	3	3

Descripción de Polígonos & UV									
Kiri Engine									
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #1	Sujeto de Prueba 1	33370	0	33370	0	64257	64257	3	3
Total		33370	0	33370	0	64257	64257	3	3
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #2	Sujeto de Prueba 2	132846	0	132846	0	234316	234316	3	3
Total		132846	0	132846	0	234316	234316	3	3
	Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Model #3	Sujeto de Prueba 3	248455	0	248455	0	465385	465385	3	3
Total		248455	0	248455	0	465385	465385	3	3

ANEXO C: Porcentajes de Similitud en Formas y Similitud en Curvas

Similitud Forma			Similitud Forma			Similitud Forma			Similitud Forma		
Polycam	Lados	Porcentaje	xOne	Lados	Porcentaje	Kiri Engine	Lados	Porcentaje	3D Scanner	Lados	Porcentaje
Sujeto de Prueba 1	Frontal	77.22	Sujeto de Prueba 1	Frontal	64.69	Sujeto de Prueba 1	Frontal	64.01	Sujeto de Prueba 1	Frontal	65.74
	Izquierdo	88.19		Izquierdo	72.77		Izquierdo	72.64		Izquierdo	74.14
	Derecho	82.06		Derecho	74.51		Derecho	72.45		Derecho	75.75
	Posterior	90.63		Posterior	84.69		Posterior	89.63		Posterior	84.49
Total Similitud		84.53	Total Similitud		74.17	Total Similitud		74.68	Total Similitud		75.03
Sujeto de Prueba 2	Frontal	79.62	Sujeto de Prueba 2	Frontal	78.51	Sujeto de Prueba 2	Frontal	81.32	Sujeto de Prueba 2	Frontal	77.83
	Izquierdo	84.24		Izquierdo	83.77		Izquierdo	87.54		Izquierdo	85.01
	Derecho	85.71		Derecho	85.54		Derecho	87.16		Derecho	86.02
	Posterior	87.73		Posterior	87.16		Posterior	85.98		Posterior	86.83
Total Similitud		84.33	Total Similitud		83.75	Total Similitud		85.50	Total Similitud		83.92
Sujeto de Prueba 3	Frontal	75.09	Sujeto de Prueba 3	Frontal	78.82	Sujeto de Prueba 3	Frontal	75.83	Sujeto de Prueba 3	Frontal	73.46
	Izquierdo	82.08		Izquierdo	75.72		Izquierdo	77.44		Izquierdo	80.48
	Derecho	81.09		Derecho	86.12		Derecho	87.78		Derecho	77.47
	Posterior	53.44		Posterior	85.8		Posterior	87.47		Posterior	50.24
Total Similitud		72.93	Total Similitud		81.62	Total Similitud		82.13	Total Similitud		70.41
Total Similitud de Polycam		80.59	Total Similitud de xOne		79.84	Total Similitud de Kiri Engine		80.77	Total Similitud de 3D Scanner		76.46

Similitud Forma				
Porcentaje %				
	Polycam	xOne	Kiri Engine	3D Scanner
Sujeto de Prueba 1	84.53	74.17	74.68	75.03
Sujeto de Prueba 2	84.33	83.75	85.50	83.92
Sujeto de Prueba 3	72.93	81.62	82.13	70.41

Similitud Forma por Aplicación			
Porcentaje %			
Polycam	xOne	Kiri Engine	3D Scanner
80.59	79.84	80.77	76.46

Similitud en Curvas			Similitud en Curvas			Similitud en Curvas			Similitud en Curvas		
Polycam	Lados	Porcentaje	xOne	Lados	Porcentaje	Kiri Engine	Lados	Porcentaje	3D Scanner	Lados	Porcentaje
Sujeto de Prueba 1	Frontal	67.61	Sujeto de Prueba 1	Frontal	61.3	Sujeto de Prueba 1	Frontal	64.71	Sujeto de Prueba 1	Frontal	65.28
	Izquierdo	68.16		Izquierdo	62.52		Izquierdo	63.93		Izquierdo	62.83
	Derecho	60.44		Derecho	68.12		Derecho	66.62		Derecho	68.62
	Posterior	78.62		Posterior	76.65		Posterior	81.38		Posterior	74.94
Total Similitud		68.71	Total Similitud		67.15	Total Similitud		69.16	Total Similitud		67.92
Sujeto de Prueba 2	Frontal	65.89	Sujeto de Prueba 2	Frontal	63.55	Sujeto de Prueba 2	Frontal	73.45	Sujeto de Prueba 2	Frontal	65.93
	Izquierdo	70.32		Izquierdo	69.31		Izquierdo	73.02		Izquierdo	71.77
	Derecho	69.74		Derecho	64.81		Derecho	72.28		Derecho	72.13
	Posterior	77.18		Posterior	75.26		Posterior	74.65		Posterior	75.2
Total Similitud		70.78	Total Similitud		68.23	Total Similitud		73.35	Total Similitud		71.26
Sujeto de Prueba 3	Frontal	60.25	Sujeto de Prueba 3	Frontal	67.66	Sujeto de Prueba 3	Frontal	67.72	Sujeto de Prueba 3	Frontal	59.1
	Izquierdo	48.08		Izquierdo	55.89		Izquierdo	56.33		Izquierdo	44.52
	Derecho	53.95		Derecho	72.86		Derecho	70.85		Derecho	52.08
	Posterior	26.14		Posterior	63.43		Posterior	63.52		Posterior	21.58
Total Similitud		47.11	Total Similitud		64.96	Total Similitud		64.61	Total Similitud		44.32
Total Similitud de Polycam		62.20	Total Similitud de xOne		66.78	Total Similitud de Kiri Engine		69.04	Total Similitud de 3D Scanner		61.17

Similitud en Curvas					Similitud en Curvas por Aplicación				
Porcentaje %					Porcentaje %				
	Polycam	xOne	Kiri Engine	3D Scanner	Polycam	xOne	Kiri Engine	3D Scanner	
Sujeto de Prueba 1	68.71	67.15	69.16	67.92	62.20	66.78	69.04	61.17	
Sujeto de Prueba 2	70.78	68.23	73.35	71.26					
Sujeto de Prueba 3	47.11	64.96	64.61	44.32					

Promedio entre Similitud en Forma y Similitud en Curvas			
Polycam	xOne	Kiri Engine	3D Scanner
71.40	73.31	74.90	68.81

ANEXO D: Detección de Forma con Python y Google Colab

```

import cv2
import numpy as np
import imutils
from google.colab import files

# Cargar la imagen
img_path = 'p4.jpg'
imagen = cv2.imread(img_path) # Reemplazar con el nombre del archivo cargado

# Conversión de la imagen a escala de grises
img_grey = cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

# Establecer un umbral
umbral = 120

# Obtener el umbral de la imagen
ret, umbral_img = cv2.threshold(img_grey, umbral, 255, cv2.THRESH_BINARY)

# Encontrar la forma
contornos, jerarquia = cv2.findContours(umbral_img, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

# Crear una imagen vacía para dibujar la forma
img_contornos = np.zeros(imagen.shape)

# Dibujar la forma en la imagen vacía
cv2.drawContours(img_contornos, contornos, -1, (75, 255, 0), 1)

# Guardar la forma generada
cv2.imwrite('pp4.jpg', img_contornos)

# Descargar el archivo generado
files.download('pp5.jpg')

```

ANEXO E: Detección de Contornos y Bordes con Python y Google Colab

```
import cv2
import numpy as np
import imutils
from google.colab.patches import cv2_imshow # Para mostrar imágenes en Colab
from google.colab import files # Para descargar imágenes procesadas si es necesario

# Cargar la imagen
img_path = 'p4.jpg'
imagen = cv2.imread(img_path) # Carga la imagen en color

# Paso 2: Conversión a escala de grises
gray = cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

# Paso 3: Aplicar un desenfoque para suavizar la imagen (opcional, mejora bordes)
gray_blur = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)

# Paso 4: Detección de bordes con el detector Canny
# Ajusta los umbrales según la calidad de los bordes detectados
canny = cv2.Canny(gray_blur, 20, 130)

# Paso 5: Mejorar los bordes con dilatación y erosión
canny = cv2.dilate(canny, None, iterations=2) # Aumenta el grosor de los bordes
canny = cv2.erode(canny, None, iterations=1) # Reduce ruido en los bordes

# Paso 6: Redimensionar la imagen para visualización
image = imutils.resize(canny, width=300)

# Paso 7: Mostrar la imagen procesada
cv2_imshow(image)

# Paso 8: Guardar la imagen procesada
output_path = 'po4.jpg' # Nombre del archivo de salida
cv2.imwrite(output_path, image)
print(f"Imagen procesada guardada como: {output_path}")

# Paso 9: Descargar la imagen procesada (si es necesario)
files.download(output_path)
```

ANEXO F: Comparar resultados con Python y Google Colab

```
from skimage.metrics import structural_similarity
from skimage.transform import resize
import cv2
from google.colab import files
from google.colab.patches import cv2_imshow # Para mostrar imágenes en Colab

# Subir las imágenes a Google Colab
print("Por favor, sube las dos imágenes a comparar.")
uploaded = files.upload() # Esto permite subir múltiples archivos desde el equipo

# Asegúrate de que se subieron dos imágenes
if len(uploaded) != 2:
    raise ValueError("Por favor, sube exactamente dos imágenes para la comparación.")

# Cargar las imágenes
img1_name = list(uploaded.keys())[0] # Nombre de la primera imagen
img2_name = list(uploaded.keys())[1] # Nombre de la segunda imagen

# Leer las imágenes en escala de grises
img1 = cv2.imread(img1_name, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
img2 = cv2.imread(img2_name, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

# Validar que las imágenes se hayan cargado correctamente
if img1 is None or img2 is None:
    raise ValueError("Error al cargar las imágenes. Asegúrate de que los archivos subidos sean imágenes válidas.")

# Cambiar el tamaño de la segunda imagen para que coincidan las dimensiones
img2_resized = resize(img2, (img1.shape[0], img1.shape[1]), anti_aliasing=True, preserve_range=True).astype("uint8")

# Función para calcular la similitud estructural (SSIM)
def structural_sim(img1, img2):
    sim, _ = structural_similarity(img1, img2, full=True)
    return sim

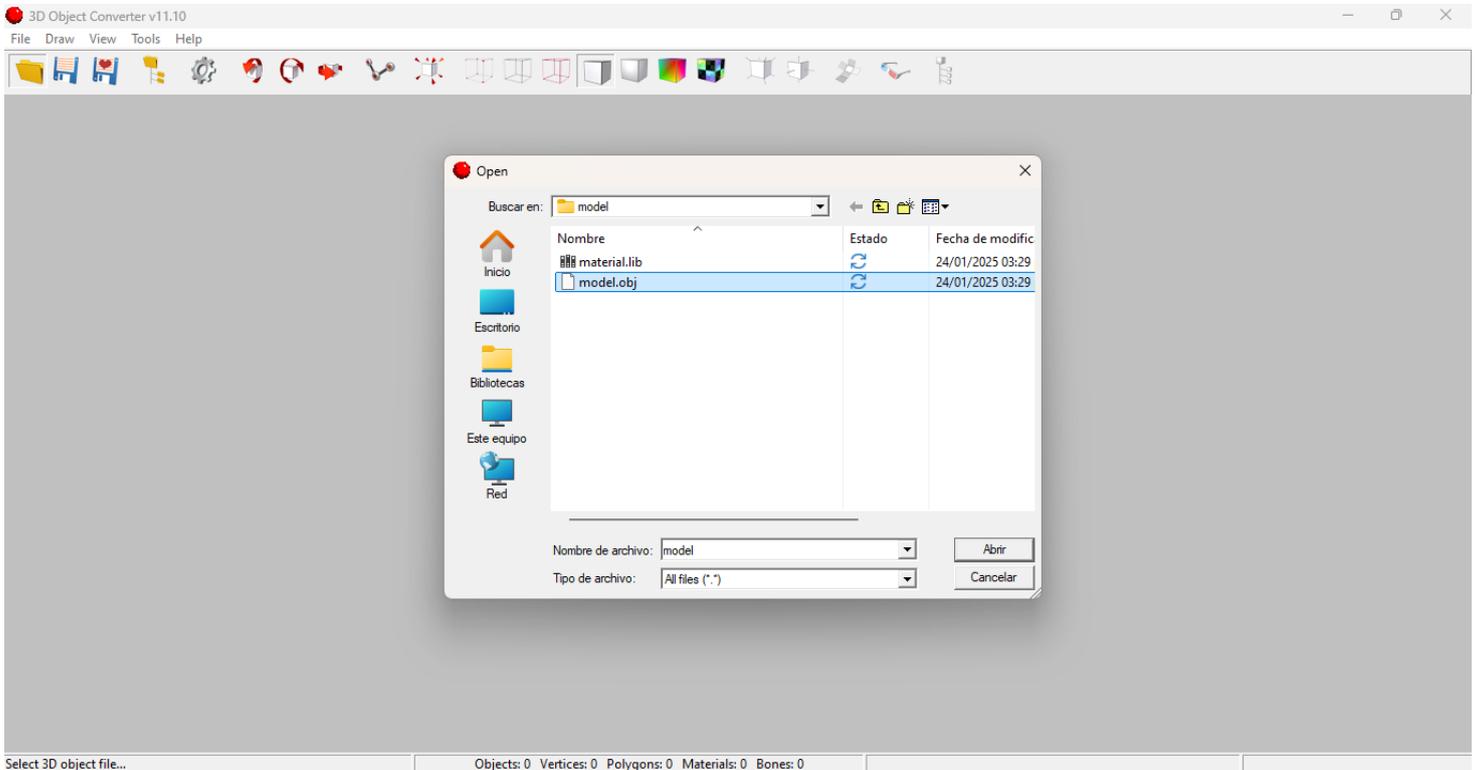
# Calcular el porcentaje de similitud
ssim = structural_sim(img1, img2_resized) * 100

# Imprimir el resultado
print("Porcentaje de similitud: ", round(ssim, 2), "%")

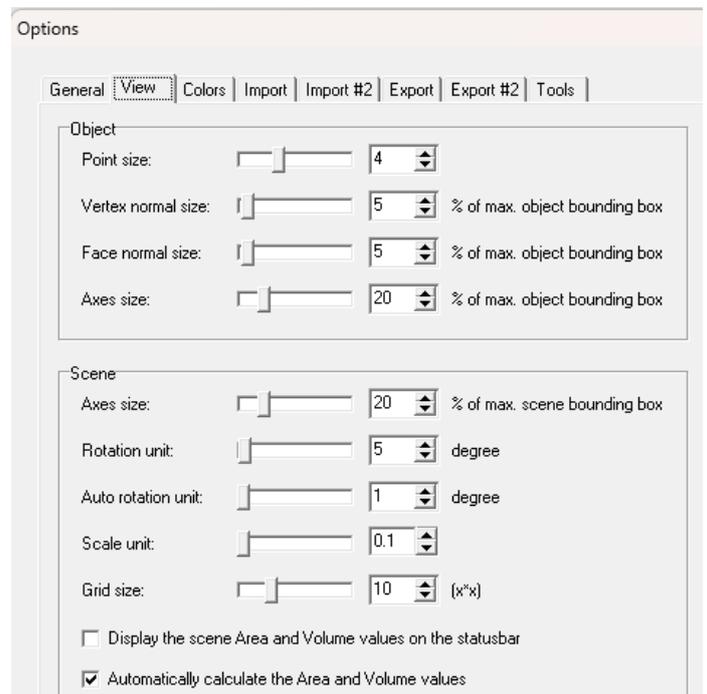
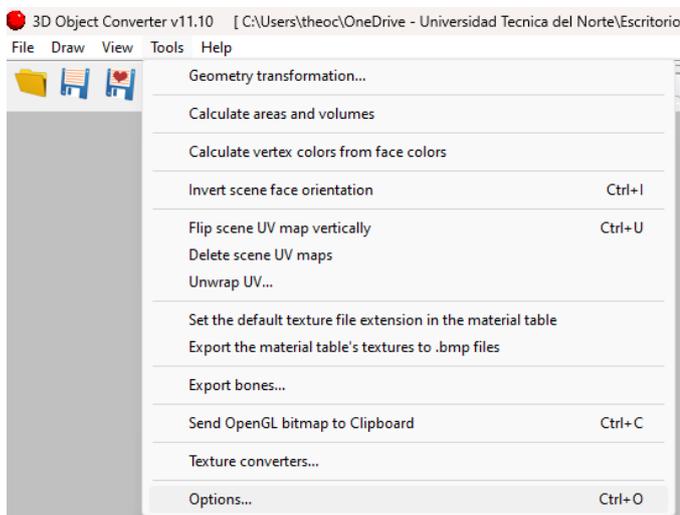
# Mostrar las imágenes originales y procesadas en Colab
print("Imagen 1:")
cv2_imshow(img1)
print("Imagen 2 (redimensionada):")
cv2_imshow(img2_resized)
```

ANEXO G: Obtener Información del Modelo 3D a través del visor 3D Object Converter

Para comenzar, es necesario cargar el modelo 3D seleccionando "File" y luego "Open". Es importante tener en cuenta que el software solo es compatible con modelos 3D en formato .obj.



Una vez que se ha cargado el modelo 3D, para visualizar información como el área y el volumen, es necesario ir a "Tools", luego a "Options", y en la sección de "View" activar la opción "Automatically calculate the Area and Volume values".



Activa la opción para visualizar el Área y el Volumen, se puede acceder a su información haciendo clic en "View" y luego seleccionando "Quick Scene Information", lo que hará aparecer una tabla con los detalles correspondientes.

