

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales

ESTUDIO DE APLICACIONES QUE CONVIERTEN CUERPOS SÓLIDOS EN OBJETOS 3D PARA SU APLICACIÓN EN REALIDAD AUMENTADA

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniera en Sistemas
Computacionales

Autora:

Ana Tatiana De La Cruz Muenala

Director:

Msc. Fausto Alberto Salazar Fierro

Ibarra - Ecuador

2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN Y USO DE 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:	100418143-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	De La Cruz Muenala Ana Tatiana		
DIRECCIÓN:	Urcuquí		
EMAIL:	atdelacruz@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-	TELÉFONO MÓVIL:	0963263595

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Estudio de aplicaciones que convierten cuerpos sólidos en objetos 3D para su aplicación en realidad aumentada.
AUTOR (ES):	Ana Tatiana De La Cruz Muenala
FECHA: DD/MM/AAAA	09/04/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Sistemas Computacionales
ASESOR /DIRECTOR:	Msc. Fausto Alberto Salazar Fierro

2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la 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 9 días del mes de abril de 2022

LA AUTORA:



Ana Tatiana De La Cruz Muenala

CI. 100418143-2



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

Ibarra, 08 de abril de 2022

CERTIFICACIÓN DIRECTOR

Por medio del presente, yo Msc. Fausto Salazar, certifico que la Srta. Ana Tatiana De La Cruz Muenala, portadora de la cédula de identidad Nro. 100418143-2. Ha trabajado en el desarrollo del proyecto de trabajo de grado denominado **“ESTUDIO DE APLICACIONES QUE CONVIERTEN CUERPOS SÓLIDOS EN OBJETOS 3D PARA SU APLICACIÓN EN REALIDAD AUMENTADA”**, previo a la obtención del título de Ingeniera en Sistemas Computacionales, realizándolo en su totalidad con interés profesional y responsabilidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente,

Msc. Fausto Salazar

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a Dios, por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida y a mi familia, en especial a mi madre María Elena quien me ha apoyado de manera incondicional ayudándome más allá de sus posibilidades, brindándome la oportunidad de tener una carrera universitaria y siendo un ejemplo de constancia y esfuerzo, gracias mami por darme la vida y por amarme como soy.

A mi padre Orlando quien siempre ha estado de mi lado en tiempos difíciles y mis hermanas Leonela y Fátima, que han sabido cómo alegrarme la vida gracias a sus ocurrencias y forma de ser.

Ana Tatiana De La Cruz Muenala

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por permitirme conocer, rodearme y vivir con personas a las cuales amo y aprecio con el corazón.

Agradezco a mis padres y hermanas, mi gran tesoro por cada día que han vivido conmigo este duro camino, por brindarme su cariño y amor desde que nací, son mi principal motivación para salir adelante y espero algún día poder retribuir al menos un poco de lo que han hecho por mí.

A mis amigos y compañeros de carrera, en especial a Fabricio C. quien ha sido un gran apoyo a lo largo de estos casi cinco años, gracias por alentarme, y acompañarme en los momentos que creí que no lo iba a conseguir, y por compartir conmigo sus conocimientos, amor y paciencia, siendo mi persona especial.

Un agradecimiento especial al Msc. Fausto Salazar director de tesis, Msc Carpio Pinea y Msc. Silvia Arciniega, por cada consejo y recomendación brindados en el proceso de desarrollo de este trabajo de titulación.

Ana Tatiana De La Cruz Muenala

Tabla de Contenido

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTOS.....	6
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
Resumen	13
Abstract.....	14
INTRODUCCIÓN	15
Tema.....	15
Problema.....	15
Objetivos.....	16
Alcance	17
Metodología.....	18
Justificación	19
CAPÍTULO 1.....	20
Marco Teórico.....	20
1.1 Objetos 3D.....	20
1.1.1. Orígenes.....	20
1.1.2. Diferencias entre un objeto 2D y 3D	21
1.1.3. Propiedades de un Objeto 3D.....	22
1.1.4. Vistas de un objeto 3D	23
1.1.5. Usos de los objetos 3D y su futuro.....	23
1.2 Comportamiento de un objeto 3D.....	24
1.2.1. Realidad Aumentada (RA).....	24
1.3 Técnicas para el modelado 3D.....	25
1.4.1. Clasificación de la fotogrametría	29
• Fotogrametría terrestre.....	29
• Fotogrametría aérea.....	30
• Fotogrametría analógica.....	31
• Fotogrametría analítica.....	31
• Fotogrametría digital.....	32
1.4.2. Funcionamiento.....	33
1.4.3. Aplicaciones	35

CAPÍTULO 2	37
Estudio de las herramientas	37
2.1. Selección de las aplicaciones móviles	37
2.1.1. SCANN3D.....	39
2.1.2. ARitize360.....	40
2.1.3. Qlone.....	40
2.1.4. 3DScanLink.....	42
2.1.5. Unlimited 3D Scanner	42
2.1.6. Gespodo Footscan 3D	43
2.1.7. MOD 3d Scanner App.....	44
2.1.8. Handy Scan – Escáner 3d APP.....	45
2.1.9. PIX4DCatch: 3D scanner.....	45
2.1.10. 3D Escáner Live	46
2.2. Estudio de las aplicaciones	47
2.2.1. Materiales.....	47
• Cubo de Rubik.....	47
• Mesa y fondo rojo.....	47
• Celular y tripie	49
2.2.2. Escaneo del objeto.....	50
• 3D Escáner Live.....	50
• 3DScanLink.....	52
• Qlone.....	53
2.3. Captura de objetos a diferentes distancias	56
2.3.1. Objetos a escanear	56
• 3D Escáner Live.....	57
• 3DScanLink.....	58
• Qlone.....	58
2.4. Prototipo de RA	59
2.4.1. Unity	59
2.4.2. Unity Hub	59
2.4.3. Vuforia.....	60
2.4.4. Aplicación de RA.....	60
CAPÍTULO 3	64
Validación de resultados	64
3.1. Metodología de evaluación	64
3.1.1. Métricas de evaluación	64
• Densidad.....	64

- **Número de Texturados sobre Número de Puntos Visibles 66**
- **Diferencia de Formas y Comparación de Contornos con Medida de Distancia. 66**
- **Comparación de Variación de la Curvatura del Modelo con los Bordes de la Textura utilizando Medida de Distancia..... 68**
- 3.2. Análisis de impacto 72**
- **Impacto social 72**
- **Impacto tecnológico..... 73**
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 74**
- **Conclusiones..... 74**
- **Recomendaciones..... 75**
- Bibliografía..... 76**
- ANEXO A: Cálculo de la densidad 81**
- ANEXO B: Descripción de los polígonos & UV 81**
- ANEXO C: Detección de forma con Python..... 83**
- ANEXO D: Detección de contornos y bordes con Python..... 83**
- ANEXO E: Comparar resultados con Python 84**
- ANEXO F: Obtener información del objeto 3D a través del visor 3D Object Converter 84**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Fig. 1	Árbol de Problemas.....	16
Fig. 2	Proceso del proyecto.....	17
Fig. 3	Metodología	18
Fig. 4	Ejes de un objeto 2D y 3D.....	21
Fig. 5	Tres Dimensiones	22
Fig. 6	Vistas o planos de la visión en 3D.....	23
Fig. 7	Modelado Poligonal.....	26
Fig. 8	Modelado NURBS.....	27
Fig. 9	Modelado UVs.....	28
Fig. 10	Fotogrametría Terrestre	30
Fig. 11	Fotogrametría Aérea	30
Fig. 12	Cámara Fotogramétrica Analógica	31
Fig. 13	Fotogrametría Digital usando un dron	32
Fig. 14	Etapas del proceso fotogramétrico	34
Fig. 15	Fotogrametría.....	35
Fig. 16	Huawei P20 lite	38
Fig. 17	Pantalla principal SCANN3D	39
Fig. 18	Pantalla principal App ARitize360.....	40
Fig. 19	Pantalla principal App Qlone	41
Fig. 20	Plantilla App Qlone.....	41
Fig. 21	Pantalla principal App 3DScanLink.....	42
Fig. 22	Pantalla principal App Unlimited 3D Scanner	43
Fig. 23	Pantalla principal App Gespodo Footscan 3D	44
Fig. 24	Pantalla principal MOD 3d Scanner App	44
Fig. 25	Pantalla principal Handy Scan – Escáner 3d App.....	45
Fig. 26	Pantalla principal PIX4DCatch: 3D scanner	46
Fig. 27	Pantalla principal 3D Escáner Live	46
Fig. 28	Cubo de Rubik	47
Fig. 29	Fondo rojo.....	48
Fig. 30	Círculo con radio de 26 cm.....	48
Fig. 31	Tripie para celular.....	49
Fig. 32	Pantalla principal 3D Escáner Live	50
Fig. 33	Menú principal para la captura 3D Escáner Live.....	50
Fig. 34	Captura del cubo 3D Escáner Live	51
Fig. 35	Objeto 3D con 3D Escáner Live	51

Fig. 36 Información de procesamiento del objeto 3D Escáner Live	51
Fig. 37 Subida de imágenes 3DScanLink.....	52
Fig. 38 Captura del cubo 3DScanLink.....	52
Fig. 39 Objeto 3D con 3DScanLink	53
Fig. 40 Plantillas A4 y A3 Qlone	54
Fig. 41 Captura del cubo Qlone.....	54
Fig. 42 Procesamiento cubo Qlone	54
Fig. 43 Objeto 3D con Qlone	55
Fig. 44 Objeto 2 3D Escáner Live.....	57
Fig. 45 Objeto 3 3D Escáner Live.....	57
Fig. 46 Objeto 1 3D Escáner Live.....	57
Fig. 47 Objeto 3 3DScanLink	58
Fig. 48 Objeto 2 3DScanLink	58
Fig. 49 Objeto 1 3DScanLink	58
Fig. 50 Objeto 2 Qlone	58
Fig. 51 Objeto 3 Qlone	58
Fig. 52 Objeto 1 Qlone	58
Fig. 53 Pantalla principal Unity	59
Fig. 54 Pantalla principal UnityHub	59
Fig. 55 Configuración de Vuforia	60
Fig. 56 Selección de la versión de Unity a usar.....	60
Fig. 57 Desarrollo de la interfaz.....	61
Fig. 58 Carga del objeto 3D	61
Fig. 59 Pantalla principal de Vuforia web	62
Fig. 60 Ícono de la aplicación appRA	63
Fig. 61 Pantalla principal de la aplicación.....	63
Fig. 62 Demostración de la aplicación.....	63
Fig. 63 Objeto 3D con área del ambiente 3DScanLink.....	65
Fig. 64 Forma 1 localizada con Python	67
Fig. 65 Forma 3 localizada con Python	67
Fig. 66 Forma 2 localizada con Python	67
Fig. 67 Contorno 3 localizado con Python.....	69
Fig. 68 Contornos 1 localizados con Python.....	69
Fig. 69 Contornos 2 localizado con Python	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diferencias entre 2D y 3D	22
Tabla 2 Fotogrametría según su tratamiento.....	33
Tabla 3 Aplicaciones móviles descargadas.....	37
Tabla 4 Características del teléfono celular.....	38
Tabla 5 Tabla de resultados 3D Escáner Live	52
Tabla 6 Tabla de resultados 3DScanLink.....	53
Tabla 7 Tabla de resultados Qlone	55
Tabla 8 Objeto 1	56
Tabla 9 Objeto 2	56
Tabla 10 Objeto 3	57
Tabla 11 Densidad de los objetos	65
Tabla 12 UV Polígonos	66
Tabla 13 Porcentaje de similitud en forma	67
Tabla 14 Porcentaje similitud en curvas.....	69
Tabla 15 Tiempo empleado por las aplicaciones.....	70
Tabla 16 Resumen de las métricas	71
Tabla 17 Tabla de definición de variables y valores para impacto.....	72
Tabla 18 Impacto social	72
Tabla 19 Impacto tecnológico	73

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar de manera cuantitativa qué modelo 3D generado por tres aplicaciones móviles es el que se acerca más al objeto real que ha sido escaneado por estas, haciendo uso de métricas que permitían calificar diferentes aspectos como la densidad y la similitud en forma, además de tomar en cuenta aspectos propios de cada aplicación como su tiempo de captura, número de tomas y tiempo de procesamiento.

Siendo 3D Escáner Live, Qlone y 3DScanLink las tres aplicaciones seleccionadas para este estudio, se obtuvo los siguientes resultados: En cuanto a la similitud del diseño 3D con el objeto real, 3D Escáner Live obtuvo el mayor porcentaje de similitud con el 90.10% en el objeto grande, el 90.41% en el objeto mediano y el 90.16% en el objeto pequeño, en cuanto al contorno.

3D Escáner Live, además obtuvo un 58,26% en el objeto grande, en el mediano un 66,36% y en el pequeño un 63,23% en cuanto a los contornos y bordes., con respecto a la textura, al igual que las demás aplicaciones, obtuvo el 100% y en cuando a la densidad, fue la aplicación que obtuvo más densidad en dos de sus tres objetos. Por lo que en conclusión es la aplicación que genera un modelo 3D de mejor calidad.

Con el fin de comprender de una mejor manera cómo está compuesto este documento, se detalla a continuación:

En la parte de introducción se definen el planteamiento del problema, objetivo general y objetivos específicos. También incluye el alcance del estudio, la justificación y la metodología a seguir.

En el capítulo 1, se presenta el marco teórico, se detallan los temas acerca de los objetos 3D, ¿Qué son?, ¿Cuál es su comportamiento?, las técnicas que se usan para su modelado, la Realidad aumentada y fotogrametría.

En el capítulo 2, se realiza el desarrollo del estudio, iniciando con la selección de las aplicaciones móviles, posterior a eso la captura de los objetos y el desarrollo de un prototipo de aplicación de RA usando herramientas tecnológicas como Unity y Vuforia.

En el capítulo 3, se aplica una metodología para evaluar los objetos 3D obtenidos y determinar la mejor aplicación haciendo uso de varias métricas.

Abstract

The objective of this study was to quantitatively determine which 3D model generated by three mobile applications is the one that is closest to the real object that has been scanned by them, making use of metrics that allowed qualifying different aspects such as density and similarity in form, in addition to taking into account aspects of each application such as its capture time, number of shots and processing time.

Being 3D Escáner Live, Qlone and 3DScanLink the three applications selected for this study, the following results were obtained: Regarding the similarity of the 3D design with the real object, 3D Escáner Live obtained the highest percentage of similarity with 90.10% in the large object, 90.41% in the medium object and 90.16% in the small object, in terms of shape.

3D Escáner Live also obtained 58,26% in the large object, 66.36% in the medium and 63.23% in terms of contours and edges. than the other applications, they obtained 100% and in terms of density, it was the application that obtained more density in two of its three objects. So in conclusion it is the application that generates a better quality 3D model.

In order to better understand how this document is composed, it is detailed below:

In the introductory part, the problem statement, general objective and specific objectives are defined. It also includes the scope of the study, the justification and the methodology to be followed.

In chapter 1, the theoretical framework is presented, the topics about 3D are detailed, What are they? What is their behavior?, The techniques used for their modeling, Augmented Reality and photogrammetry.

In Chapter 2, the development of the study is carried out, starting with the selection of the mobile applications, after that the capture of the objects and the development of an AR application prototype using technological tools such as Unity and Vuforia.

In Chapter 3, a methodology is applied to evaluate the 3D objects obtained and determine the best application using various metrics.

INTRODUCCIÓN

Tema

Estudio de aplicaciones que convierten cuerpos sólidos en objetos 3D para su aplicación en realidad aumentada.

Problema

En las últimas décadas el modelado en 3D, tanto para animación como para proyectos de software parece un trabajo realizado por profesionales con altos conocimientos técnicos y con herramientas especializadas, que requieren horas de dedicación para obtener un buen resultado. (ESIC, 2018)

A pesar de que la tecnología ha avanzado, aún existe un alto grado de incertidumbre o desconocimiento acerca del proceso de captura y conversión de una imagen a un objeto en 3D, que, sumado a la existencia de una gran cantidad de aplicaciones móviles que realizan este proceso, resulta difícil saber cuál de todas, es la más efectiva.

La Realidad aumentada es un área muy explotada actualmente, en especial por aplicaciones móviles y videojuegos, donde se usan técnicas como la fotogrametría para captar todas las caras de un elemento, también se hace uso del modelado en 3D, usando herramientas de software de escritorio o de manera online. (ESIC, 2018)

La RA hace uso de objetos 3D y puede demandar de un alto grado de precisión y de tiempo, sin embargo, si usamos aplicaciones móviles que nos permiten generar el objeto 3D con gran precisión y en un menor tiempo, podremos generar buenos resultados.

Es por todo lo anterior que la presente propuesta de proyecto busca realizar una investigación y estudio de estas aplicaciones, con el fin de reducir el grado de incertidumbre sobre cuál herramienta captura mejor una imagen y la convierte en objeto 3D, en el proceso de automatización del modelado 3D.

Dada la gran cantidad de aplicaciones móviles que disponemos, resulta complicado poder elegir una que se adecúe a nuestras necesidades y que solviente la principal duda acerca de qué aplicación móvil brinda una mayor eficiencia y eficacia al momento de convertir el elemento capturado a un objeto 3D como se muestra en la Fig. 1, para su posterior uso en cualquier proyecto con enfoque de realidad aumentada.

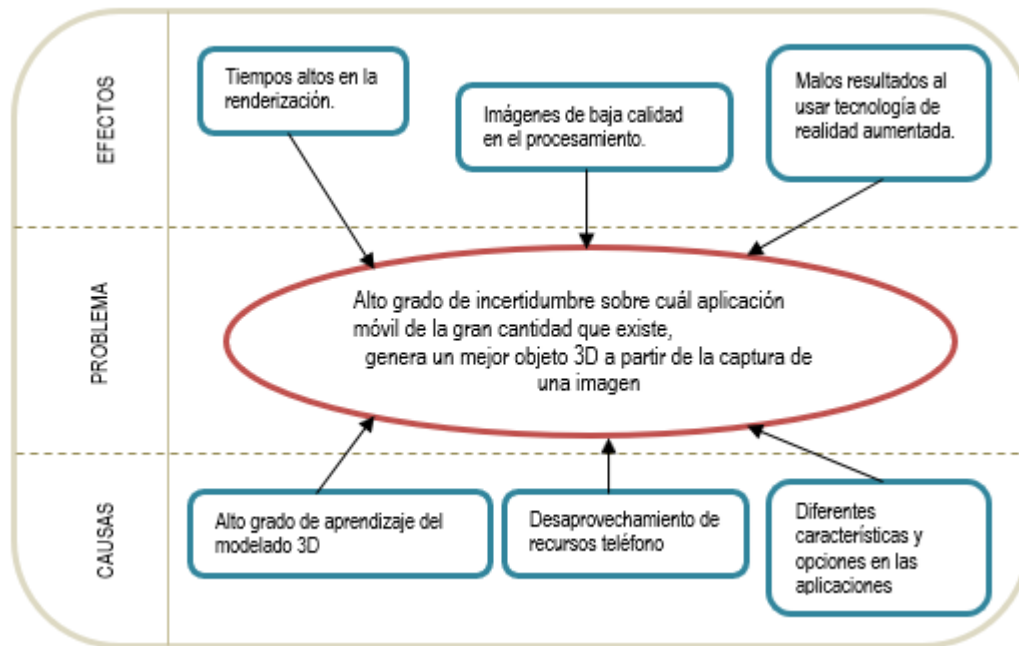


Fig. 1 Árbol de Problemas

Fuente: Propia

Objetivos

Objetivo General

Estudiar aplicaciones que convierten cuerpos sólidos en objetos 3D para su aplicación en realidad aumentada.

Objetivos Específicos

- Realizar un marco teórico donde se explique qué son los objetos 3D y cuáles son las técnicas que se utilizan para su captura.
- Determinar cuál de las herramientas resulta más adecuada para la captura de elementos, tomando en cuenta factores como el tamaño del objeto y la distancia a la que se encuentra.
- Evaluar los resultados del estudio.

Alcance

El presente proyecto de investigación consiste en realizar un estudio de tres aplicaciones móviles para el sistema operativo Android, las cuales se definirán en el proceso de investigación, donde se seleccionarán las aplicaciones que manejen la técnica de fotogrametría.

Posterior a esto se utilizarán las tres aplicaciones seleccionadas y se tomarán imágenes de distintos elementos, luego se procesarán las imágenes dando como resultado un objeto 3D, el cual será escogido para llevar a cabo el desarrollo de un prototipo de proyecto de realidad aumentada usando Unity.

Además, se aplicarán las métricas de evaluación de cada objeto 3D obtenido, mediante la aplicación de una metodología, misma que se definirá en el proceso de investigación, dando como resultado un análisis de cada una de las aplicaciones seleccionadas, tomando en cuenta los demás factores como, el tiempo que se demora en obtener el objeto, dimensiones y distancia a la que se capture.

Finalmente se obtendrá la aplicación que haya realizado un mejor trabajo a lo largo de la investigación y comparación de las aplicaciones, como se muestra en la Fig. 2.

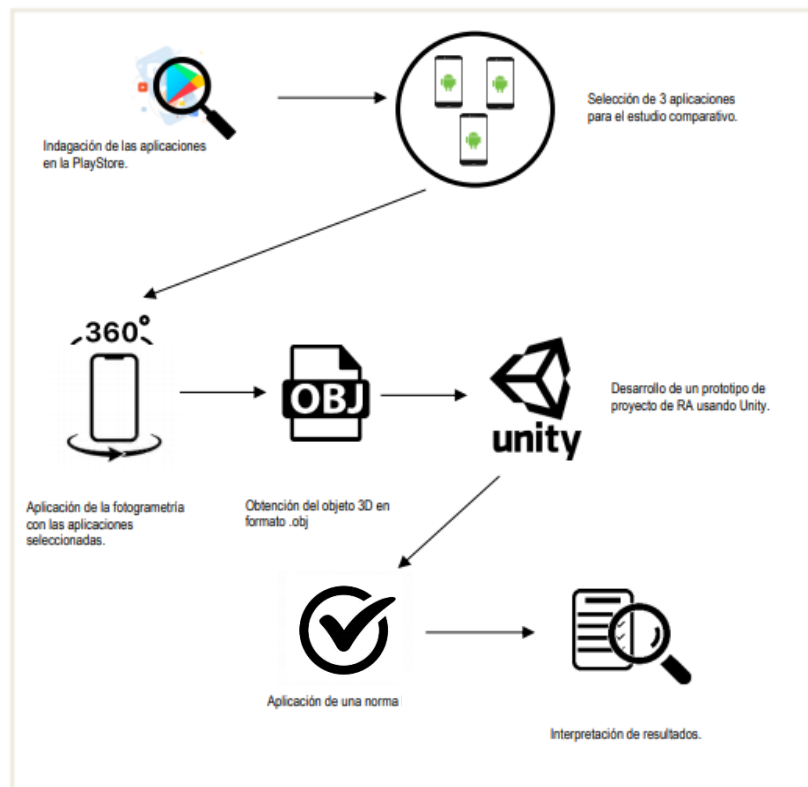


Fig. 2 Proceso del proyecto

Fuente: Propia

Metodología

Mediante una revisión de la literatura en base de datos bibliográficos se plantea realizar un marco teórico, que servirá como una línea base para este proyecto de investigación. Tomando en cuenta información clave como el modelado 3D, técnicas usadas y el comportamiento de los objetos 3D.

Para llevar a cabo la comparación de aplicaciones móviles, se requiere realizar en primera instancia, una búsqueda de aplicaciones que permitan realizar la captura de imágenes y convertir a objetos 3D, además de la utilización de la fotogrametría.

La fotogrametría es una técnica que permite realizar medidas 3D y obtener volúmenes a partir de fotografías (Perez, y otros, 2019). Se basa en el ajuste en bloque de múltiples imágenes, y puede adaptarse a cualquier tipo de cámara (Esquivel, Alarcón, Esquivel, & Fernández, 2019). Se busca hacer uso de aplicaciones que manejen esta técnica, misma que se verá apoyada bajo condiciones como distancia, iluminación y escenario. La fotogrametría es, sin lugar a duda, la solución fotogramétrica más precisa, potente y robusta (Vegas, 2020).

Usando Unity como herramienta para el desarrollo de un prototipo de proyecto, se pretende validar los resultados obtenidos, haciendo uso de los objetos 3D en formato .obj de cada una de las aplicaciones y de la aplicación de una metodología, como se muestra en la Fig. 3.

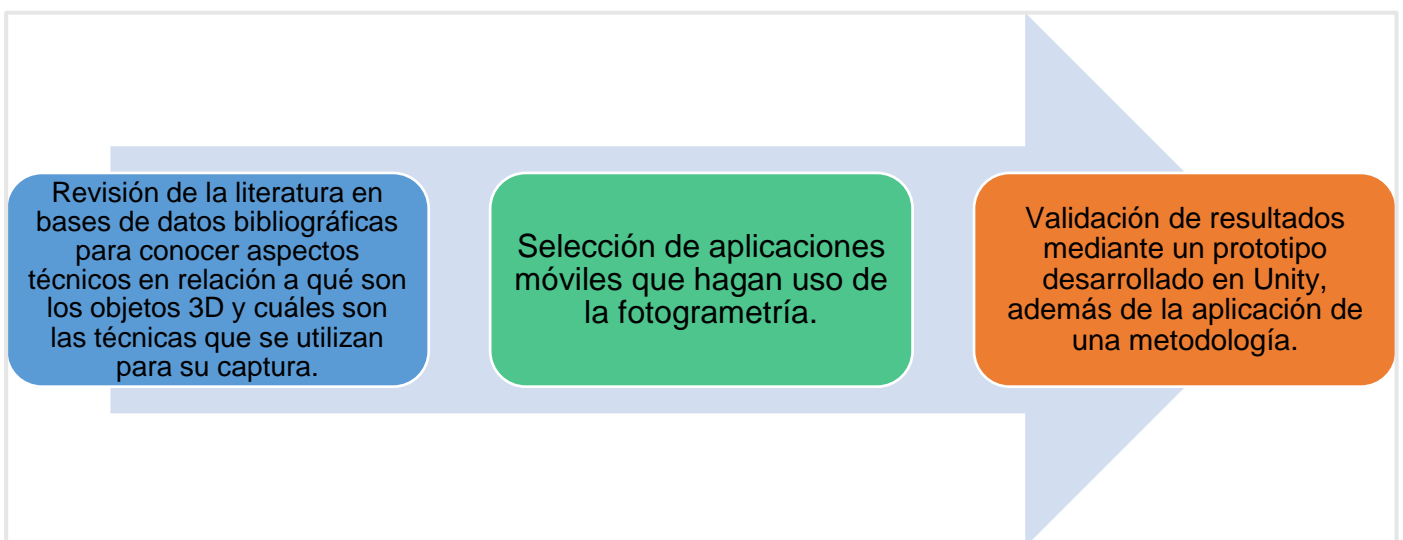


Fig. 3 Metodología

Fuente: Propia

Justificación

El presente proyecto está enfocado hacia el objetivo 9 de los 17 objetivos de desarrollo sostenible planteado por las Naciones Unidas: Construir Infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación. (ONU, 2019) Literales:

9.4 “De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpio y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.”

9.b “Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas”.

Justificación tecnológica: Este proyecto de tesis permite generar nuevo conocimiento para poder identificar herramientas tecnológicas como las aplicaciones móviles que están enfocadas en la captura de imágenes y conversión a objetos 3D. Dando una alternativa a la utilización de métodos tradicionales como aplicaciones de escritorio y haciendo uso de la tecnología emergente como la realidad aumentada.

Justificación social: La realidad aumentada tiene un gran impacto a nivel social, puesto que interviene en sectores potenciales como lo son la educación, la salud y el turismo, mediante proyectos y aplicaciones que son usadas para fortalecer los procesos en estas áreas estratégicas.

CAPÍTULO 1

Marco Teórico

1.1 Objetos 3D

1.1.1. Orígenes

El nacimiento del concepto de 2D en lo que respecta a su historia en la animación se halla en el siglo XIX, de la mano de la creación del folioscopio, un formato de libro que contiene imágenes con variaciones graduales ya sea de posiciones, posturas o acciones, aplicadas página por página y que, al pasarlas de forma rápida, crean la ilusión de movimiento. (Martínez, 2020)

El término 2D como concepto o tecnología moderna surgió relativamente reciente, puesto que, no hablamos de una época de miles o millones de años, sino del siglo pasado, pero hay que tomar en cuenta que como primeras apariciones de algún indicio del 2D, fueron los primeros dibujos realizados por nuestros antepasados y asentamientos poblacionales antiguos, pinturas en cuevas, lienzos o libros.

Cuando nos referimos a un objeto 2D hacemos referencia a un objeto plano, que, si bien puede tener algún efecto de profundidad, esto no es más que la utilización de colores más oscuros y la aplicación de luces y sombras en ciertas zonas del objeto.

La tecnología 3D, por su parte, encuentra un registro inicial en el año de 1964, gracias a William Fetter, un diseñador gráfico estadounidense y pionero en la animación por computadora, quien realizó las primeras imágenes tridimensionales de un cuerpo humano a través de un software y que posteriormente serían plasmadas en estructuras metálicas conocidas como "Boeing Man". Dichas figuras se utilizaron para simular a una persona en la cabina de un avión. (Introbrand, 2018)

Sin embargo, es común encontrar su origen histórico de manera oficial en 1972, siendo Ed Catmull y Fred Parke creadores del primer cortometraje 3D renderizado en el mundo, presentando una versión animada de la mano izquierda del Ed. Dicho material fue incorporado en la película *Future World (El mundo futuro)*, a la que se le considera la primera cinta que utiliza imágenes generadas por computadora (CGI), que presentaba manos y rostros humanos en 3D. (Ultimate History of CGI, 2018)

Otra de las películas más representativas que utilizó recursos 3D fue *Toy Story* realizada por Pixar, empresa donde Catmull fue uno de los fundadores. Las técnicas que se usaron en ese entonces resultaron ser la base para la renderización y modelado 3D que hoy se utiliza en videojuegos, películas y efectos especiales.

El término 3D significa tridimensional y se utiliza para representar a un objeto o espacio que cuenta con las siguientes propiedades: altura, ancho y profundidad. Solo con mirar, los seres humanos somos capaces de percibir relaciones espaciales entre objetos, esto es gracias a que poseemos percepción 3D, también conocida como percepción de profundidad.

Nuestras retinas, a medida que miramos alrededor, perciben una cierta combinación de imágenes 2D, pero, nuestro cerebro procesa esta información haciéndonos percibir el entorno en tres dimensiones, esto es parte de las facultades que nos brinda poseer una visión estereoscópica. (Palma, 2017)

1.1.2. Diferencias entre un objeto 2D y 3D

Un punto diferenciador clave entre ambos formatos de representación gráfica es la profundidad. Cuando hablamos de imágenes en formato 2D, sabemos que nos referimos a imágenes “planas”, pues cuentan solo con dos índices de medición: altura y longitud (Si los graficamos en un plano cartesiano serían el eje X y el eje Y respectivamente como se muestra en la Fig. 4). En cambio, el formato en tridimensionales, o 3D, poseen además la característica de profundidad (En el plano cartesiano el eje Z). (Martínez, 2020)

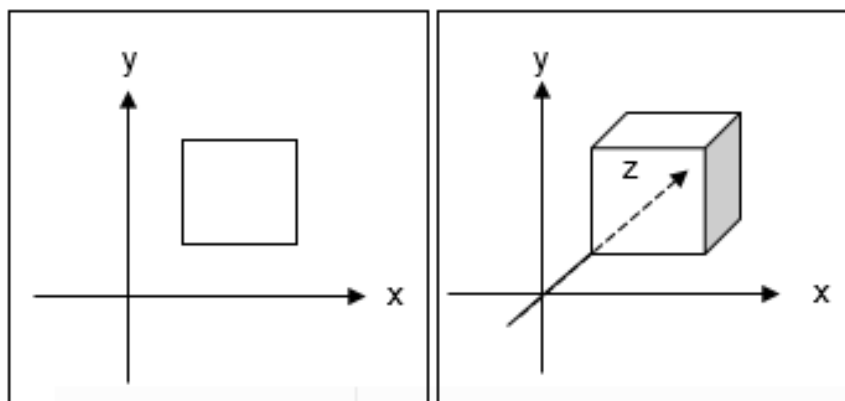


Fig. 4 Ejes de un objeto 2D y 3D

Fuente: Propia

A continuación, se presenta una tabla comparativa Tabla 1, que abarca las diferencias entre los objetos 2D y 3D para tener una mejor comprensión del tema:

Tabla 1 Diferencias entre 2D y 3D

	2D	3D
Tipo	Dos dimensiones	Tres dimensiones
Características	Película Fotográfica	Analítico (Computadora)
Presentación	Representa un objeto solo con dos dimensiones: longitud y altura	Representa un objeto con tres dimensiones: longitud, ancho y alto
Aspectos	Plana	Simula algo vivo, real
Ejes	Eje x, Eje y	Eje x, Eje y, Eje z
Figuras	Rectángulo, cuadrado, triángulo, polígono, etc.	Cilindro, esfera, cubo, pirámide, prisma, etc.

Fuente: (MGVA, 2017)

1.1.3. Propiedades de un Objeto 3D

El diseño tridimensional de un objeto 3D tanto en el mundo físico como en el virtual, está enfocado principalmente a la profundidad que presenta este objeto, además del largo y ancho con el que cuenta, como se muestra en la Fig. 5. Se debe entender muy bien que, la profundidad en el mundo digital es un efecto visual que se crea en la pantalla de solo dos dimensiones. (Maldonado, 2016)

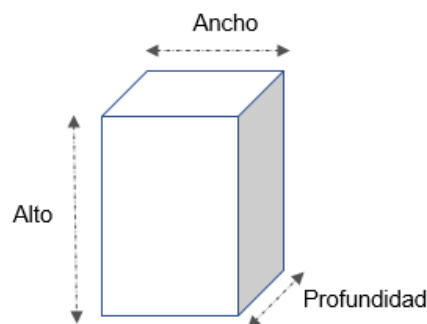


Fig. 5 Tres Dimensiones

Fuente: Propia

1.1.4. Vistas de un objeto 3D

Un objeto en 3D, tanto en áreas como la arquitectura, dibujo técnico y el diseño puede ser observado desde cualquier ángulo por lo que se han establecido seis vistas estándar, las cuales corresponden a las seis direcciones ortogonales que son: Top, Bottom, Right, Left, Front y Back (Arriba, abajo, derecha, izquierda, en frente y detrás) como se muestra en la Fig. 6. (Almeida, 2018)

Para la creación de un objeto en 3D se debe conocer a detalle las 6 vistas del objeto que se desea representar en tres dimensiones. Hoy en día, gracias a software especializado en el modelado tridimensional es sencillo poder apreciar de mejor manera todas las vistas de un objeto 3D.

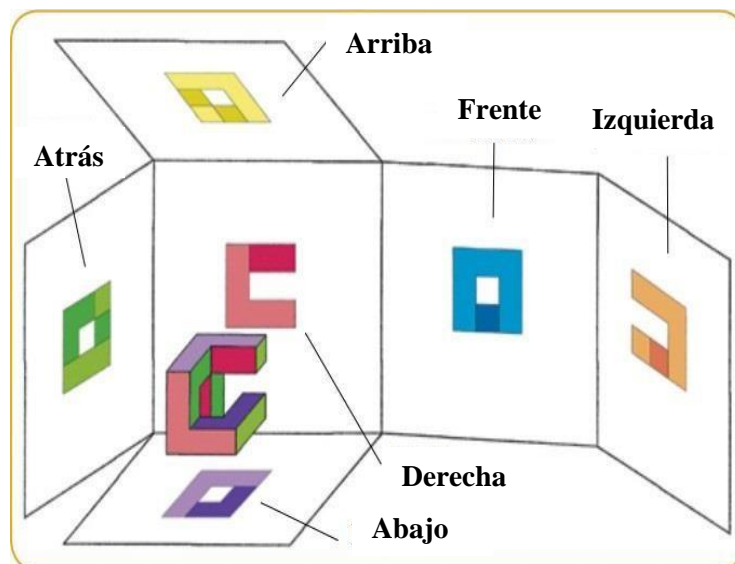


Fig. 6 Vistas o planos de la visión en 3D

Fuente: (Almeida, 2018)

1.1.5. Usos de los objetos 3D y su futuro

Los objetos 3D actualmente tiene diversos usos, entre los más destacados podemos encontrar los videojuegos, guías didácticas en el ámbito académico, arquitectura e ingeniería y mediante el uso de los objetos 3D y su formato podemos aplicar las impresiones 3D, mismas que en la última década han sumado importancia en el sector médico, puesto que, se está logrando imprimir no sólo órganos, sino también, prótesis y fármacos. (Bucco, 2016)

1.2 Comportamiento de un objeto 3D

1.2.1. Realidad Aumentada (RA)

Mediante el uso de la tecnología, la RA nos permite colocar capas de información visual sobre el mundo o el espacio real en el que vivimos. Esto nos ayuda a crear experiencias que aportan un conocimiento relativamente importante acerca de nuestro entorno, aumentando la percepción que tenemos del mismo, además mediante esta tecnología, se puede incorporar contenido multimedia que receptamos en tiempo real. (Neosentec, 2020)

Así pues, como nos explican (Méndez & Guzmán, 2019), se entiende que para que la RA se lleve a cabo, es necesario contar al menos con varios elementos esenciales:

- **Cámara** la cual capturará las imágenes que vemos de la realidad. Esta cámara puede ir en cualquier tipo de dispositivo, como teléfonos, videoconsolas, tablets.
- **Pantalla** donde se proyectará la unión de la información, tanto la real como la virtual.
- **Un software** o programa que se encargue de mezclar la información.

Gracias al uso de los modelos 3D, se ha permitido llegar a la interactividad entre objetos y personas o usuarios, generando un vínculo que va mucho más allá de la visión directa a una virtual, la cual permite explorar y estudiar el objeto de interés, sin alterarlo y sin que la perspectiva de visión humana tienda a deformarlo. (Vera, Ibáñez, & Parada, 2015)

Es importante saber diferenciar la realidad aumentada de la realidad virtual RV, que, si bien dichos términos comparten algunos elementos, la realidad virtual sustituye al entorno real, lo que no sucede con la RA, que implica un aumento de la experiencia sensorial o de información en el mundo real.

Según (Krichenbauer, Yamamoto, Taketom, Sandor, & Kato, 2018) en su estudio acerca del manejo, manipulación e interactividad del usuario tanto de la realidad virtual como aumentada, demuestra un tiempo de finalización de tareas más rápido en RA que en RV. Esto no quiere decir que una tecnología sea mejor que otra, sin embargo, nos da una clara idea de cómo los objetos 3D pueden comportarse de maneras distintas de acuerdo con el uso y aplicación que se le dé.

1.3 Técnicas para el modelado 3D

Con respecto al modelado 2D, como ya se ha mencionado anteriormente, nos referimos a las imágenes que tienen dos dimensiones: ancho y alto, y no cuentan con profundidad. Las diferentes herramientas de software que permiten realizar modelos en 2D, poseen componentes como puntos, líneas, arcos y polígonos, además de la inmensa paleta de colores y diseños. El diseño bidimensional está en todas partes, ya que se utiliza para la confección de logotipos, ilustraciones y otros productos digitales.

El modelado en tres dimensiones es comúnmente conocido como la representación matemática de un objeto de tres dimensiones, a través de la utilización de herramientas de software especializado, por lo que, el resultado que se obtiene de este proceso se lo conoce como un modelo 3D.

El modelado 3D, cuando se lo realiza de manera profesional, requiere de características específicas en las geometrías que posee, mismas que servirán como base para ser empleadas en fases posteriores (como el texturizado, animación, etc.). En primer lugar, es necesario establecer cuál es el objetivo del modelado, si se va a emplear para videojuegos, para un cortometraje, o para una producción audiovisual, el modo en que se le da tratamiento al objeto 3D difiere sustancialmente, por lo que este proceso se torna más complejo. (Bermejo, 2018)

El resultado generado después de realizar el modelado se conoce como un modelo 3D, y puede ser representado de dos maneras: en pantalla como una imagen bidimensional mediante un proceso conocido como 3D rendering o como un objeto físico, a través de una impresora 3D. Casi todos los modelos 3D pueden ser divididos en dos categorías principales; modelos sólidos y modelos poligonales. (Maldonado, 2016)

Modelar en 3D es comparado con otras áreas como artes plásticas y la escultura, donde se trata de obtener un modelo semejante al que se tiene en mente, utilizando diversas técnicas y haciendo uso de varias herramientas.

1.3.1. Modelado poligonal

En la actualidad, los polígonos se han convertido en la base de muchos de los modelos 3D y son usados ampliamente en el desarrollo de contenido como: efectos animados, películas, videojuegos y más aplicaciones en internet. Los polígonos son figuras geométricas con vértices, bordes y vistas los cuales se utilizan para la creación de modelos en tres dimensiones. (Almeida, 2018)

Un polígono tiene componentes básicos como lo son: los vértices, los bordes y las caras o vistas, donde los vértices son definidos como puntos tridimensionales que conectan líneas rectas o bordes de la figura, y la región interior del polígono se llama cara.

Este tipo de modelado también se lo representa como una malla poligonal en un espacio 3D compuesta por varios polígonos de distintas formas conectados entre sí, como se muestra en la Fig. 7. Es la técnica más usada debido a su flexibilidad y a que se renderizan de una forma más rápida.

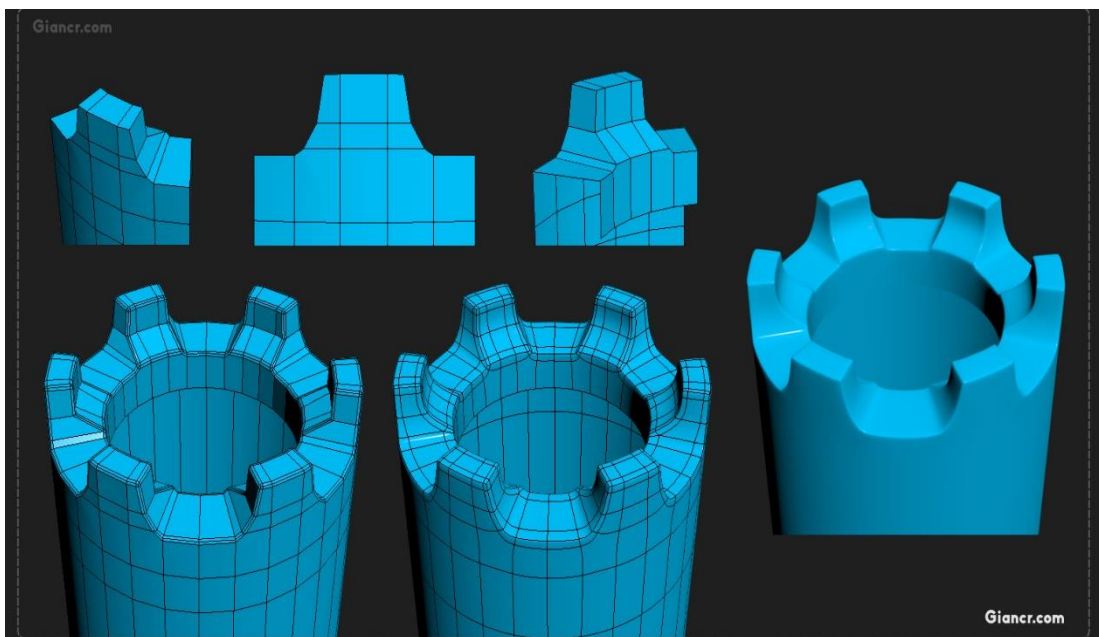


Fig. 7 Modelado Poligonal

Fuente: (GrafismoDigital, 2016). Recuperado de <https://bit.ly/3cj3wBM>

1.3.2. Modelado Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS)

NURBS es uno de los métodos más comunes y poderosos adoptados por la comunidad de diseño asistido por computadora (CAD) para representar curvas complejas, superficies y volúmenes. (Safdari, Najafi, Sottos, & Geubelle, 2016)

NURBS brinda un marco de modelado 3D basado en primitivas geométricas y curvas dibujadas. Se puede usar NURBS para construir modelos 3D a partir de primitivas y curvas, que definan el contorno básico de la forma 3D que se desea modelar.

- Las primitivas son objetos 3D relativamente simples creados a base de figuras geométricas comunes, como cubos, esferas, conos; y pueden representar un excelente punto de partida para modelar en 3D, debido a que permiten editar sus atributos para modificar su forma normal. También se puede modificar las primitivas mediante recortes porciones de sus formas, biselando sus bordes o esculpiéndolas de diferentes maneras usando herramientas de escultura que posean los diferentes programas especializados para este tipo de labor. (Almeida, 2018)

Para construir o modificar curvas y superficies NURBS:

- Se puede dibujar curvas colocando vértices de control o editando puntos (Fig. 8).
- Las opciones para crear y editar curvas NURBS y superficies NURBS se pueden encontrar en programas que apliquen este tipo de modelado.

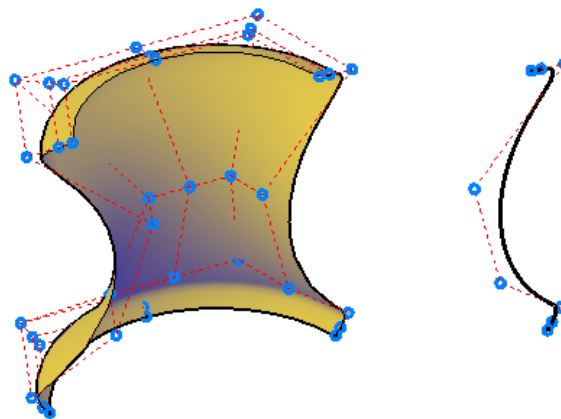


Fig. 8 Modelado NURBS

Fuente: (Autodesk, 2019). Recuperado de <https://autode.sk/3cmonUK>

1.3.3. Modelado UVs

Los UVs son coordenadas de textura 2D, los cuales contienen la información del componente de vértice para mallas de superficie poligonal y de subdivisión.

El proceso que sigue esta técnica es el de colocar una imagen 2D en un modelo 3D, como si se lo estuviese envolviendo. El nombre UV se refiere a los ejes de los mapas, es decir un modelo 3D posee ejes X, Y, y Z, en cambio los mapas tienen ejes U y V, donde U equivale a X y V a Y, evitando así confusiones entre ejes del espacio 3D y ejes del mapa UV. (Chamorro, 2016)

Los rayos UV son esenciales porque proporcionan la conexión entre la malla de la superficie y la forma en que se mapea la textura de la imagen. Es decir, los rayos UV actúan como puntos marcadores que controlan qué puntos en el mapa de textura corresponden a puntos específicos en la malla, como se muestra en la Fig. 9.

Así, con ese principio, se puede pintar o dibujar lo que se desee, dentro del área establecida, puesto que, todo lo que se encuentre fuera de esa área, no se podrá visualizar en el modelo. Una vez que se aplique, se adaptará al modelo utilizado y se podrán ver los resultados. (Vargas, Soto, Ángel, & Peralta, 2018)

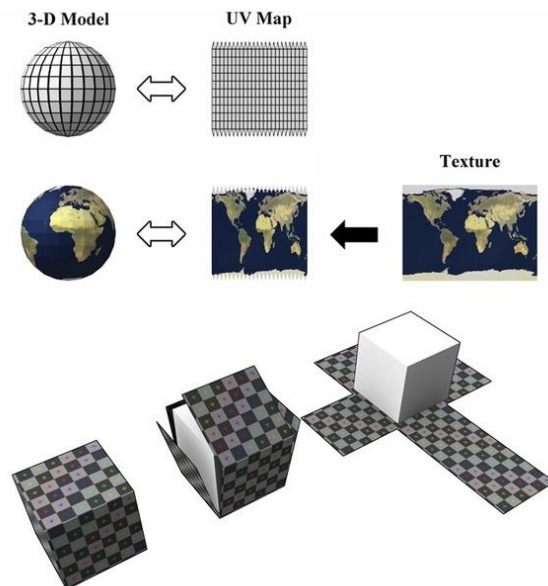


Fig. 9 Modelado UVs

Fuente: (Medrano, 2019). Recuperado de <https://bit.ly/3pmwMN7>

1.4. Fotogrametría

La Fotogrametría es traducida etimológicamente como «la medida de lo escrito con luz» y es una disciplina que se encarga de los conceptos, los métodos, los procesos y las tecnologías de obtención de fotografías o imágenes provenientes de cualquier medio, con el objetivo de obtener medidas geométricas precisas, exactas y fiables para realizar producciones cartográficas o reconstrucciones de entidades espaciales. (Balaguer, 2017)

La fotogrametría se presenta como una técnica que aporta una gran cantidad de información, sencilla, portátil puesto que únicamente necesitamos una cámara fotográfica que puedes ser de la más alta gama o una como la de nuestro móvil.

1.4.1. Clasificación de la fotogrametría

Como nos explica (Zelaya, Aguilar, Cruz, & Ricardo, 2016), la fotogrametría frecuentemente se divide en dos especialidades de acuerdo con el tipo de fotografía utilizada y estas son:

- Fotogrametría terrestre.
- Fotogrametría aérea.

- **Fotogrametría terrestre**

Se aplica principalmente en áreas como la arquitectura y la arqueología y se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, Fig. 10, dichas fotografías se las debe tomar en una posición tal que el eje de la cámara fotográfica resulte horizontal y paralelo al terreno, donde la posición de la cámara y el objeto es perfectamente conocida.

El escaneo láser terrestre utiliza detección de luz y rango, para medir rápidamente distancias entre una unidad de escaneo y objetos iluminados para crear representaciones 3D de escaneado áreas. Esta tecnología se ha utilizado para muchas aplicaciones topográficas para medir las características geológicas, superficie del suelo, vegetación, sitios arqueológicos y planificación de la propiedad para varios tipos de infraestructura fundamenta en el uso de cámaras fotogramétricas. (Roberts, y otros, 2019)



Fig. 10 Fotogrametría Terrestre

Fuente: (Hélicéo, 2016). Recuperado de <https://bit.ly/3z1Tgrd>

- **Fotogrametría aérea**

Es la que utiliza fotografías aéreas que son obtenidas desde una cámara que captura vistas amplias, ubicada en una plataforma especial como un vehículo aéreo por ejemplo los tan famosos drones, que resultan ser de suma utilidad para realizar este tipo de capturas, como se muestra en la Fig. 11. Donde el eje óptico de la cámara fotográfica está ubicado sensiblemente perpendicular al terreno o corteza terrestre.

Las fotografías aéreas se utilizan en la interpretación y el mapeo topográfico, estos dos usos diferentes han llevado al desarrollo de la fotogrametría e interpretación de fotografías e imágenes como dos ciencias independientes pero relacionadas. Fotogrametría: se refiere a la ciencia y tecnología de hacer mediciones fiables a partir de fotografías aéreas. Los principios utilizados en la fotogrametría facilita mediciones precisas relacionadas con la longitud, el ancho y la altura de dichas fotografías. Por lo tanto, se utilizan como fuente de datos para la creación y actualización de mapas topográficos. (Imam, 2021)



Fig. 11 Fotogrametría Aérea

Fuente: (Vervi). Recuperado de <https://bit.ly/3imWAHo>

También dependiendo del método empleado, se pueden distinguir tres tipos diferentes de fotogrametría:

- Fotogrametría Analógica.
- Fotogrametría Analítica.
- Fotogrametría Digital.

- **Fotogrametría analógica**

Este tipo de fotogrametría se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, como se muestra en la Fig. 12, donde el operador realiza la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado. Por otro lado, la confección de mapas, con información planialtimétrica, se realiza con el principio de la marca flotante o graficadoras basadas en este principio. (Zelaya, Aguilar, Cruz, & Ricardo, 2016)

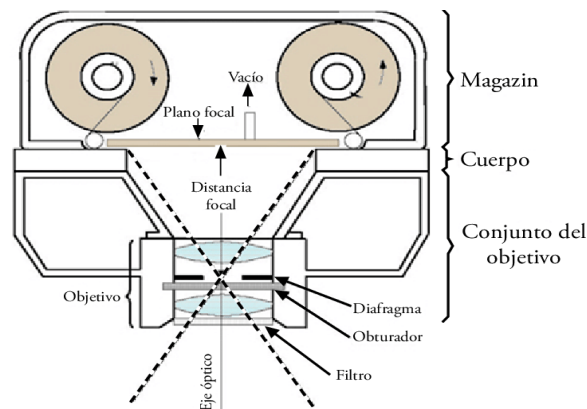


Fig. 12 Cámara Fotogramétrica Analógica

Fuente: (Quirós, 2015). Recuperado de <https://bit.ly/3uQSYQr>

- **Fotogrametría analítica**

Con la utilización de los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras surge la fotogrametría analítica, donde se maneja un restituidor analítico que permite agilizar los tiempos y lograr niveles de detalle a diferentes escalas. Además, posibilita el traspaso de esta información a programas de tipo CAD. Esto supuso una evolución en el modo de trabajar que se apoyó en la aparición de los sistemas informáticos, obteniendo mejores precisiones y mayor rendimiento al sustituir la analogía mecánica por los cálculos matemáticos.

Se puede destacar que la toma de información es analógica y el modelado geométrico es matemático. Mediante el uso de un mono-comparador o de un estereocomparador integrado en el restituidor, se miden las coordenadas (x,y) de los puntos pertinentes de las fotografías, coordenadas que son procesadas por los programas del computador del sistema. (CEUPE)

- **Fotogrametría digital**

El avance tecnológico hizo posible llegar a la obtención de esta tecnología, la fotogrametría digital. El uso de las computadoras y software especializado dan origen a los modelos digitales del terreno 3D, como se muestra en la Fig. 13. El objetivo fundamental de un sistema fotogramétrico, cualquiera que sea la metodología empleada para su construcción es la obtención de información espacial de objetos a partir de imágenes de estos, en el caso concreto de los Sistemas Fotogramétricos Digitales, a partir de imágenes en formato digital. (Reyes, 2014)

Este resultado puede ser utilizada como información de base para la generación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

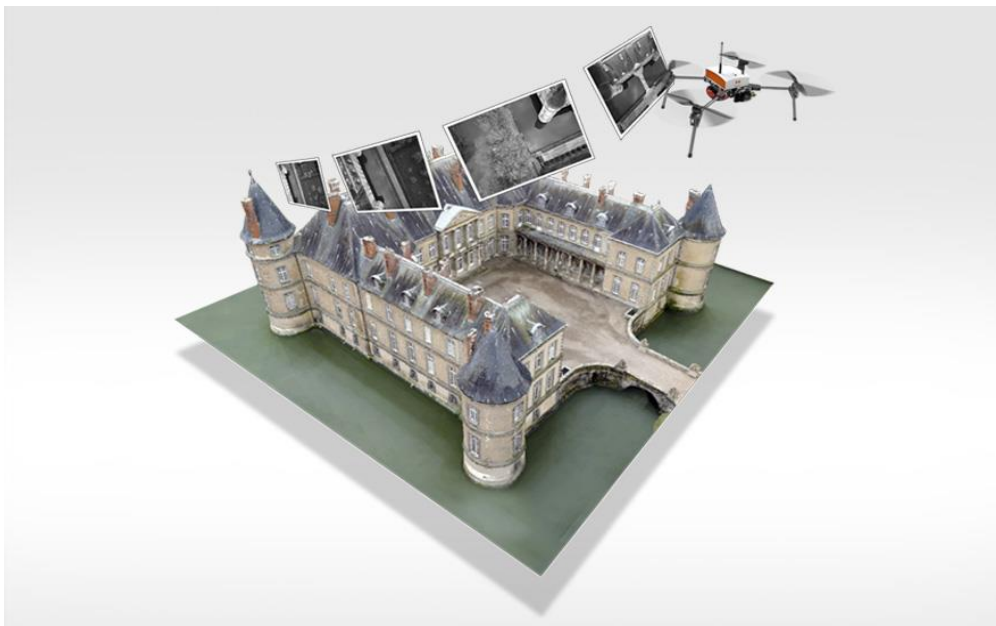


Fig. 13 Fotogrametría Digital usando un dron

Fuente: (Hélicéo, 2016). Recuperado de <https://bit.ly/3cj7MB7>

Para resumir lo anterior mente explicado:

Tabla 2 Fotogrametría según su tratamiento

Fotogrametría	Entrada	Procesamiento	Salida
Analógica	Película Fotográfica	Analógico (óptico - mecánico)	Analógica
Analítica	Película Fotográfica	Analítico (Computadora)	Analógica
Digital	Imagen digital	Analítico (Computadora)	Digital

Fuente: (UNNE)

1.4.2. Funcionamiento

El ser humano puede calcular las distancias entre objetos con el simple hecho de observar ya que, nuestros ojos registran dos imágenes algo distintas y desplazadas de este objeto, dichas imágenes son procesadas por nuestro cerebro con el fin de generar una imagen 3D.

La fotogrametría se basa principalmente en la obtención de varias fotografías tomadas a una cierta distancia, de tal forma que toda la superficie del objeto esté cubierta con un solapamiento de al menos un 65% entre imágenes contiguas, (Esquivel, Alarcón, Esquivel, & Fernández, 2019).

Si disponemos de dos o más fotografías de un mismo objeto tomadas desde puntos de vista significativamente diferentes, y tras el proceso de orientación de las tomas fotográficas, se podrá llevar a cabo la modelización digital 3D del objeto, como se muestra en la Fig. 14. (Ballester, 2016)

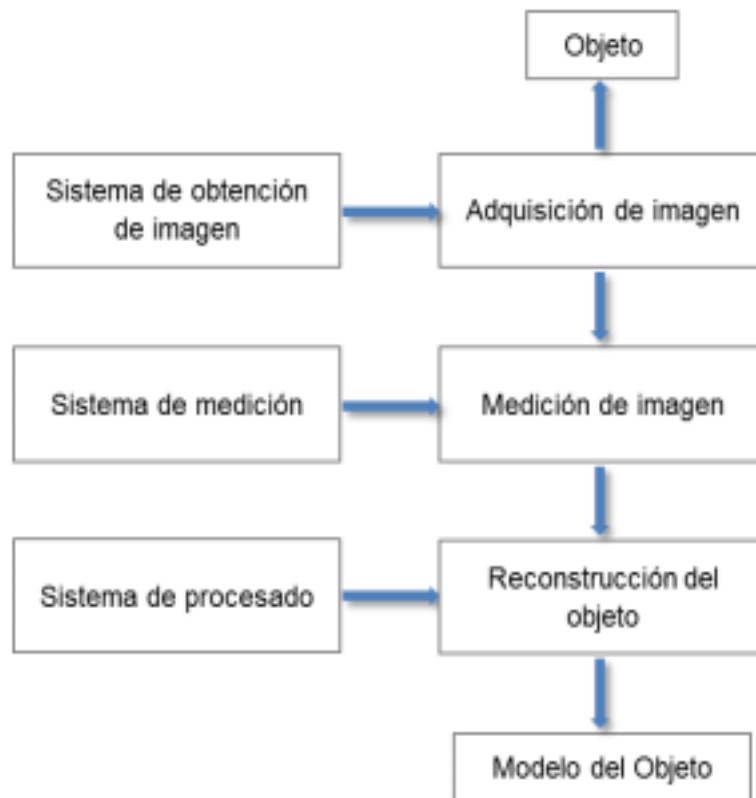


Fig. 14 Etapas del proceso fotogramétrico

Fuente: (Ballester, 2016)

El objetivo principal de la fotogrametría es el de reconstruir un modelo 3D, a partir de una imagen 2D, por lo que, dentro del proceso de elaboración de un modelo tridimensional a partir de la técnica de fotogrametría se distinguen distintas fases, Fig. 14:

1º Fase: Captura de datos. Esta fase se considera sumamente importante, ya que dependerá de ello el éxito del proyecto, por lo que es necesario hacer una planificación personalizada para cada elemento que será objeto de nuestro trabajo.

Mediante el uso de una malla, se enlazarán las imágenes que han sido obtenidas a medida de croquis, y dado que el objeto de estudio es tridimensional son necesarias fotografías hechas a distintas alturas. Otro factor importante a la hora de planificar un proyecto de trabajo es el solapamiento que debe de existir entre fotografías consecutivas. En fotogrametría se recomienda un solapamiento horizontal del 60% y vertical del 20%. (Matthews, 2007. en (Ruiz, y otros, 2016, pág. 108))

2º Fase: Procesamiento de los datos. Esta etapa consta de sub-fases:

- **Creación de la nube de puntos.** Aquí se incluye la búsqueda de puntos que son comunes entre imágenes que están solapadas. Como resultado de esta sub-fase es la obtención de la nube de puntos sobre la que se establecerá la geometría.
- **Geometría.** En este punto se genera una malla a partir de una serie de vértices y de polígonos, mismos que darán verdadero volumen a la nube de puntos que se obtiene en la sub-fase anterior.
- **Texturización.** Tanto en la primera y segunda sub-fase se puede observar en ocasiones los colores originales del elemento, estos tonos son aproximados a partir de los puntos de correlación individualizados.

1.4.3. Aplicaciones

Desde sus inicios, la fotogrametría se ha convertido en una herramienta indispensable en la cartografía de todos los países del mundo; y la mayoría de la cartografía topográfica de nuestro planeta ha sido realizada por medio de esta técnica, aunque cabe aclarar que en la actualidad se la aplica con fines distintos, por mencionar alguno es la generación de modelos 3D a escala, como se muestra en la Fig. 15.

Si bien la fotogrametría tuvo su inicio en el levantamiento de fachadas arquitectónicas y plantas de edificios, mediante el uso de fotografías terrestres, pronto se utilizaron las fotografías aéreas para el levantamiento de la cartografía de base, lo que le dio el tremendo auge que ha mantenido hasta nuestros días. (Jauregui, sf)

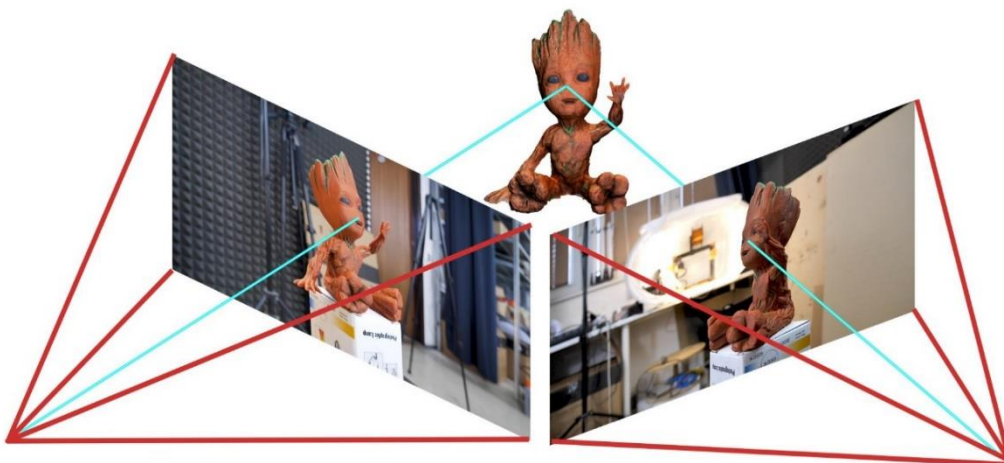


Fig. 15 Fotogrametría

Fuente: (Zuza, 2018). Recuperado de <https://bit.ly/3x261jt>

Actualmente la fotogrametría se aplica en multitud de ciencias y disciplinas, por lo que, se encuentra en una fase muy activa de expansión, debido principalmente a la gran variedad de software de modelado en los últimos años y a un aumento de la potencialidad de estos.

Cuando se emplean varias cámaras sincronizadas, es posible también medir escenas cambiantes en cada instante, bien sea porque se mueve el vehículo en el que van montadas las cámaras o porque se mueven los objetos que pasan delante de la cámara.

Sus aplicaciones son numerosas, y actualmente es una técnica ampliamente utilizada en muchas disciplinas como: Agronomía, Cartografía, Ortofotografía, Arquitectura, Planeamiento y ordenación del territorio, Medio ambiente, Arqueología, Control de estructuras, Mediciones, Topografía, Biomecánica en diversos campos como la Medicina, Ergonomía, Deporte, Investigación policial, Zoología, Ortofoto, Aplicaciones arquitectónicas, Arqueología, Control de deformaciones, Evaluación de vegetación e impacto ambiental, desarrollo de aplicaciones y videojuegos, diseño y modelado 3D entre otras.

CAPÍTULO 2

Estudio de las herramientas

2.1. Selección de las aplicaciones móviles

Para el presente estudio, la selección de las herramientas se la realizó mediante el uso una plataforma que permite la distribución digital de aplicaciones móviles para los dispositivos que cuenten con el sistema operativo Android, llamada Google Play.

A través de cadenas de búsqueda como: “3D scanner app”, “scanner 3D” y “3D object scanner app” se obtuvo diez aplicaciones móviles que en su información inmediata ofrecen las características requeridas para este caso de estudio, a continuación, se las detallan en la Tabla 3:

Tabla 3 Aplicaciones móviles descargadas

Aplicación	Acceso Anticipado	Versión	Tamaño de descarga	Puntuación
SCANN3D	No	3.1.0-10024	20MB	2,0
ARitize360	No	0.1	95MB	2,9
Qlone	No	3.13.0	50MB	2,6
3DScanLink	No	1.0.14	32MB	2,4
Unlimited 3D Scanner	No	1.0	45MB	1,5
Gesmodo Footscan 3D	No	1.5.6	19MB	3,2
MOD 3d Scanner App	Sí	0.2	124MB	-
Handy Scan – Escáner 3d APP	No	2.1.3	25MB	2,9
Pix4DCatch: 3D scanner	No	1.1.3	10MB	2,6
3D Escáner Live	Sí	2021-Q2-08	16MB	-

Fuente: Propia

Las aplicaciones antes mencionadas se las instaló en un teléfono celular con las características detalladas en la Tabla 4:

Tabla 4 Características del teléfono celular

	Característica
Marca	HUAWEI
Modelo	P20 Lite ANE-LX3
EMUI	9.1.0
Android	9
CPU	Hisilicon Kirin 659
RAM	4,0 GB
Memoria Interna	32,0 GB
Cámara trasera	Dual 16 + 2 megapíxeles video 1080p@30fps
Apertura cámara	f/2.2

Fuente: Propia



Fig. 16 Huawei P20 lite

Fuente: (Jestereo) Recuperado de: <https://bit.ly/3xOkmRv>

2.1.1. SCANN3D

SCANN3D es una aplicación que hace uso de la fotogrametría para capturar y generar un modelo 3D, mediante el uso de teléfonos inteligentes y tablets. Los modelos 3D resultantes pueden ser almacenados, compartidos y editados por aplicaciones de terceros, y pueden usarse en aplicaciones de realidad virtual o aumentada, a través de una suscripción mensual y gracias a su intuitiva manera de capturar los puntos del objeto, facilita la velocidad del desplazamiento que debe hacerse para obtener un resultado adecuado.

Esta aplicación explica cómo es el proceso de captura del objeto y los parámetros a tomar en cuenta para obtener un mejor resultado:

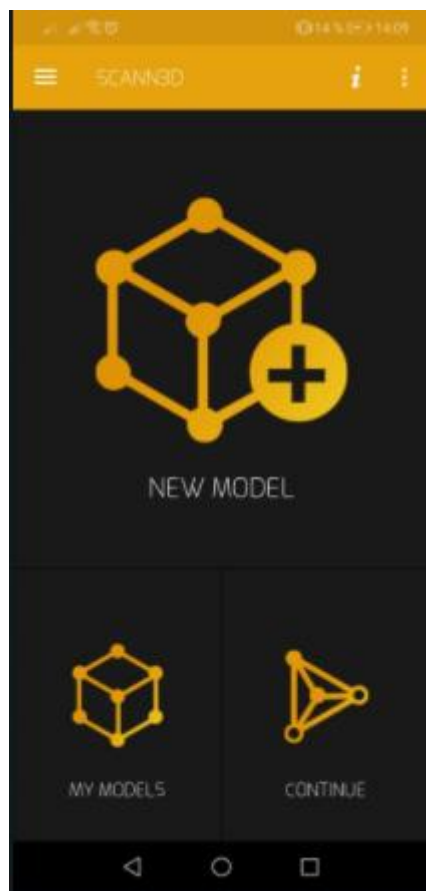


Fig. 17 Pantalla principal SCANN3D

Fuente: Propia

2.1.2. ARitize360

Esta aplicación permite realizar forma sencilla el modelo en 3D pero a un campo en específico como el calzado. A pesar de que su mercadotecnia sea enfocada a este tipo de artículos, la posibilidad de generar modelos 3D de cualquier otro objeto, no es cerrada. ARitize360 utiliza el formato de video y fotografía para obtener la data que va a ser procesada para generar el objeto 3D. Dicha información es subida a la nube y mediante un registro de cuenta envían los resultados al correo electrónico.

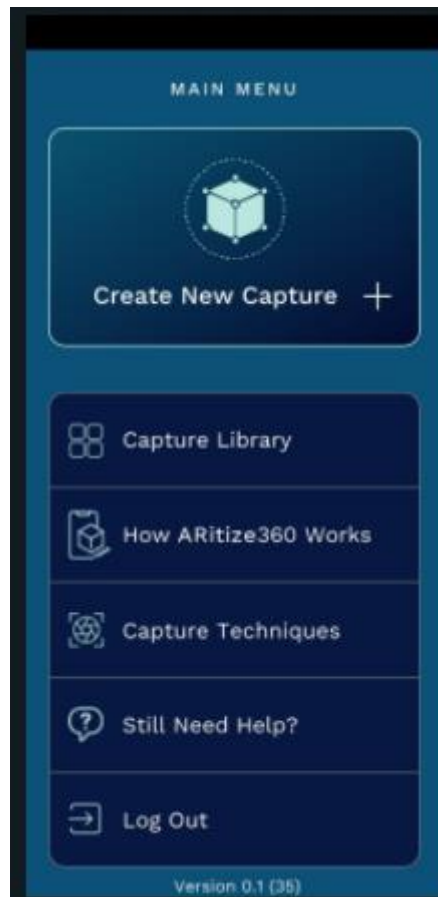


Fig. 18 Pantalla principal App ARitize360

Fuente: Propia

2.1.3. Qlone

Es una aplicación que permite el escaneo 3D mediante el uso de RA, Se puede aplicar el escáner a objetos reales, modificarlos en la misma aplicación, exportarlos en varios formatos de archivo 3D, plataformas e impresoras 3D e incluso darles vida mágicamente con animaciones. Es una herramienta que ayuda a la creación de contenido AR / VR.

Qlone cuenta con una plantilla base de realidad aumentada incluida, dicha plantilla se la puede descargar desde la aplicación, donde se coloca el objeto en el centro de ella y se deja que la cúpula de realidad aumentada guíe el proceso de escaneado. Se escanea el objeto desde ángulos diferentes y se fusiona automáticamente para obtener resultados 3D una vez finalizado el escaneo. Todo el procesamiento se realiza en directo en el teléfono en varios minutos.

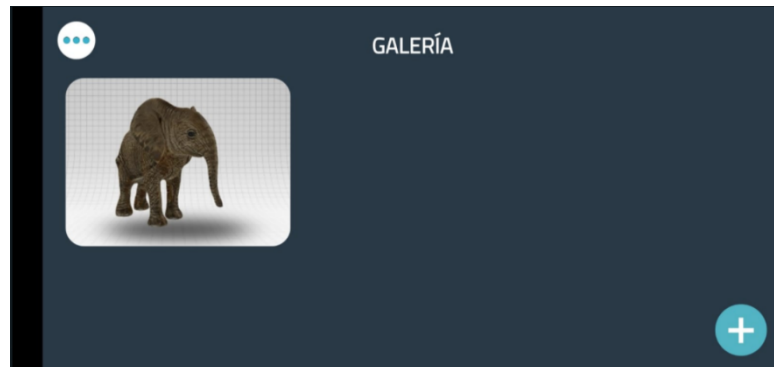


Fig. 19 Pantalla principal App Qlone

Fuente: Propia

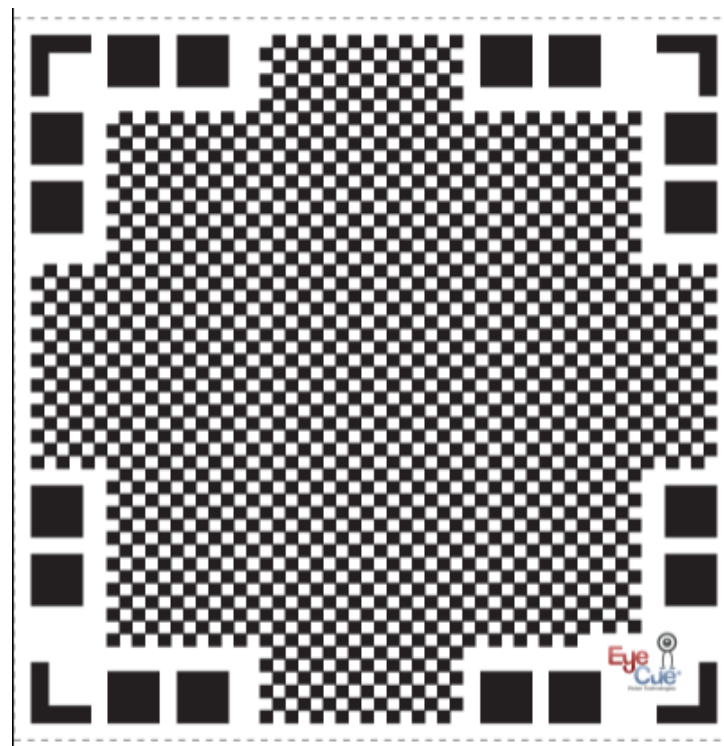


Fig. 20 Plantilla App Qlone

Fuente: Propia

2.1.4. 3DScanLink

Es una aplicación que permite digitalizar los objetos y crear modelos 3D. Posee 2 métodos para la captura de los objetos, El laser mode y el photo mode, el primero se lo realiza mediante la utilización de un escáner físico el cual se lo conecta a través de la red, el segundo es el que utiliza fotografías para capturar el objeto. Para tener acceso a la aplicación es necesario registrarse y así almacenar la información dentro del teléfono de los modelos que se vayan generando.

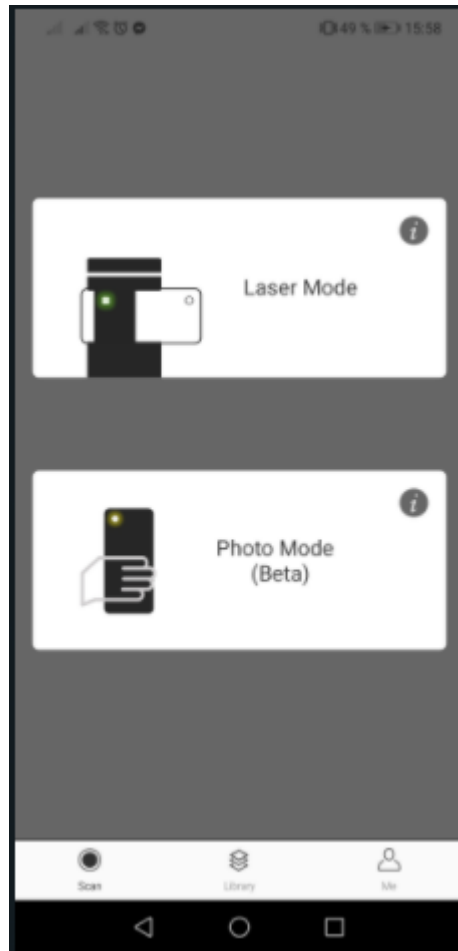


Fig. 21 Pantalla principal App 3DScanLink

Fuente: Propia

2.1.5. Unlimited 3D Scanner

Esta aplicación permite escanear sus objetos reales y los convierte en 3D. Permite capturar objetos con un detalle, y promete crear modelos de estos objetos con alta precisión. Utiliza inteligencia artificial y cualquier cámara decente para convertir objetos físicos en modelos 3D fotorrealistas.

Una vez capturado el objetivo se sube a una nube y se espera el proceso de conversión para su posterior descarga y uso. Y al igual que ARitize360 se enfoca en el calzado, pero eso no impide que se pueda capturar cualquier otro objeto.



Fig. 22 Pantalla principal App Unlimited 3D Scanner

Fuente: Propia

2.1.6. Gespodo Footscan 3D

Permite a los podólogos escanear en 3D los pies de los pacientes y comunicar sus decisiones terapéuticas y correcciones personalizadas. El paciente debe colocar su pie en varias posiciones para que el escáner haga su trabajo, esta aplicación puede obtener más utilidades a parte del cuidado de los pies, pues el resultado obtenido podría ser usado en otras áreas como el diseño de calzado personalizado, entre otros.



Fig. 23 Pantalla principal App Gespodo Footscan 3D

Fuente: Propia

2.1.7. MOD 3d Scanner App

La aplicación MOD 3d Scanner es una herramienta móvil de acceso anticipado, todo en uno para fotogrametría 3D, que utiliza realidad aumentada para guiar su captura, se requiere colocar cualquier objeto en una superficie plana, y con el teléfono se toma un video en todos los lugares correctos que marca la aplicación. A partir de ahí, mediante IA procesa el escaneo en la nube y exporta sus resultados para visualización en 3D.

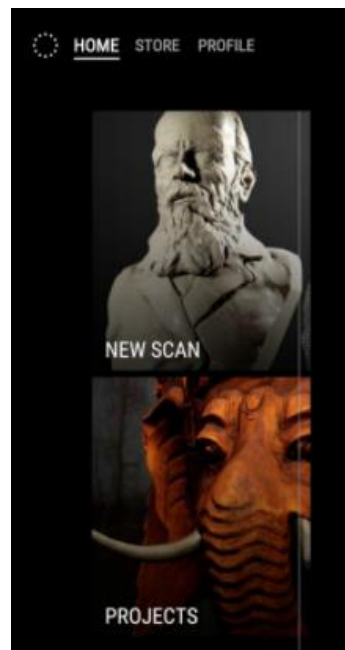


Fig. 24 Pantalla principal MOD 3d Scanner App

Fuente: Propia

2.1.8. Handy Scan – Escáner 3d APP

Handy Scan – Escáner 3d App, es una aplicación para usar con el escáner 3D Revopoint POP. Con ella, puede utilizar su escáner 3D en cualquier lugar. No sólo es adecuado para los entusiastas profesionales, sino también para los novatos. Si se tiene una profesión de artista o un ingeniero, el escáner 3D Revopoint será un asistente de diseño 3D. Cuenta con varios modos de escaneo y utiliza herramientas externas para la captura de los objetos. (Revopoint 3D Technologies Inc., 2021)

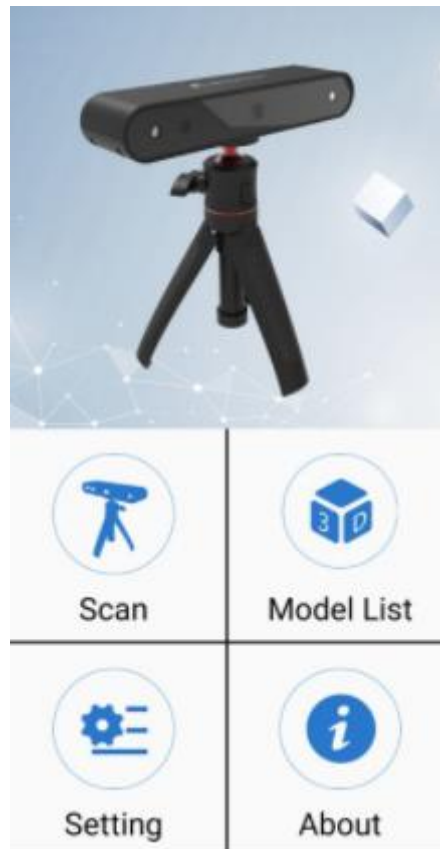


Fig. 25 Pantalla principal Handy Scan – Escáner 3d App

Fuente: Propia

2.1.9. PIX4DCatch: 3D scanner

Pix4Dcatch: 3D scanner es la herramienta para capturar imágenes con el uso de la fotogrametría. Estas imágenes se pueden utilizar para obtener modelos 3D de dentro o fuera de Pix4Dmapper, cuenta con una prueba gratuita de 15 días, así como también la oportunidad de realizar hasta tres modelos 3D y después se requiere una suscripción válida.

Se debe caminar por el área de interés y la aplicación grabará imágenes a lo largo del camino, para ello hace uso del GPS el cual debe estar activado.

Las imágenes se pueden cargar en Pix4Dcloud para la generación rápida de modelos 3D donde se puede visualizar, medir, compartir y exportar. O pueden exportarse localmente para su procesamiento en Pix4Dmapper.

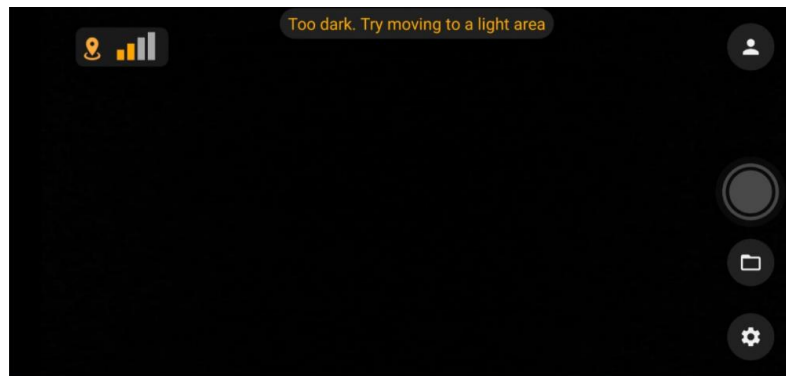


Fig. 26 Pantalla principal PIX4DCatch: 3D scanner

Fuente: Propia

2.1.10. 3D Escáner Live

Esta aplicación permite el escaneo de espacios abiertos, así como también de rostros humanos, con la ayuda del geolocalizador del celular y un suave movimiento por el área de interés se puede ir evidenciando en pantalla la forma que va adquiriendo el modelo.

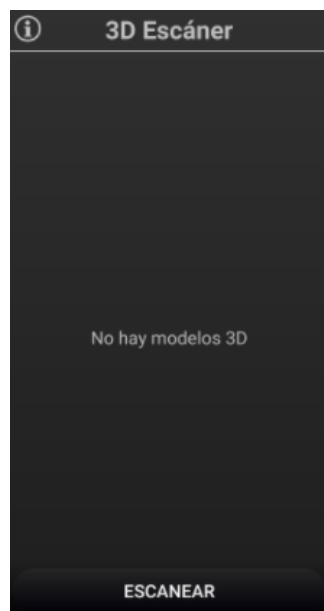


Fig. 27 Pantalla principal 3D Escáner Live

Fuente: Propia

2.2. Estudio de las aplicaciones

2.2.1. Materiales

Con la finalidad de escanear los objetos usando las aplicaciones en las mismas condiciones, tanto en espacio, luminosidad, distancia y entorno, se utilizó diversos materiales que facilitaron la labor del escaneo.

- **Cubo de Rubik**

El cubo de Rubik será el objeto que se escaneará usando las aplicaciones anteriormente seleccionadas, mide 5,7cm de cada lado.



Fig. 28 Cubo de Rubik

Fuente: Propia

- **Mesa y fondo rojo**

Para que la captura y el escaneo del objeto se lo realice en un ambiente plano y sin objetos de fondo que distraigan la atención, se optó por colocar un fondo plano como se puede ver en la Fig. 29, dicho fondo estará apoyado sobre una mesa plana, misma que señalará el punto donde se colocará el objeto a escanear Fig. 30.



Fig. 29 Fondo rojo

Fuente: Propia

La mesa está marcada con tiza blanca un círculo con un radio de 26 cm y un punto central donde se colocará el cubo de Rubik.



Fig. 30 Círculo con radio de 26 cm

Fuente: Propia

- **Celular y tripie**

El tripie sirve para mantener el celular en una misma posición en cada toma, así como la distancia hacia el objeto y el ángulo ya que permite mover el celular tanto en posición horizontal como vertical.



Fig. 31 Tripie para celular

Fuente: Propia

2.2.2. Escaneo del objeto

Si bien, en un inicio se descargaron diez aplicaciones, nueve de ellas lograron generar el objeto 3D a excepción de Handy Scan – Escáner 3d App que requería el uso de un escáner externo para realizar la captura.

De las nueve aplicaciones resultantes, se optó por escoger únicamente tres tomando en cuenta la dificultad para obtener el objeto 3D, ya que en casos como: ARitize360, Unlimited 3D Scanner, Gespodo Footscan 3D, MOD 3d Scanner App, Pix4DCatch: 3D scanner, SCANN3D, se requiere de un pago por cada escáner o una suscripción para poder obtenerlo, aunque ofrecen un número de dos a tres pruebas gratuitas.

Debido a todo esto a continuación se detallan las aplicaciones que finalmente fueron seleccionadas.

- **3D Escáner Live**

Esta aplicación es de acceso anticipado, pero tiene varias funcionalidades como el escaneo facial, el escaneo de espacios abiertos y el de objetos a través de la técnica de fotogrametría. Una vez abierta la aplicación, primero se selecciona la opción escanear de la pantalla principal y luego en Fotogrametría en línea en el menú.

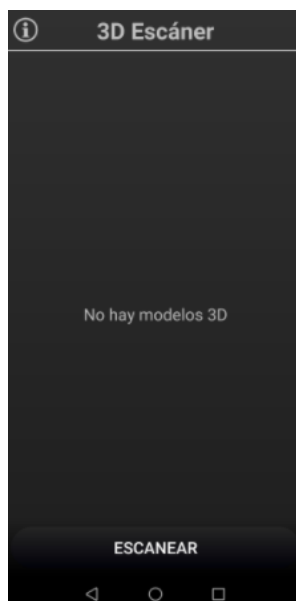


Fig. 32 Pantalla principal 3D Escáner Live



Fig. 33 Menú principal para la captura 3D Escáner Live

Fuente: Propia



Fig. 34 Captura del cubo 3D Escáner Live

Fuente: Propia

Una vez finalizada la captura, automáticamente la aplicación procesa las imágenes y después de unos minutos presenta el resultado.

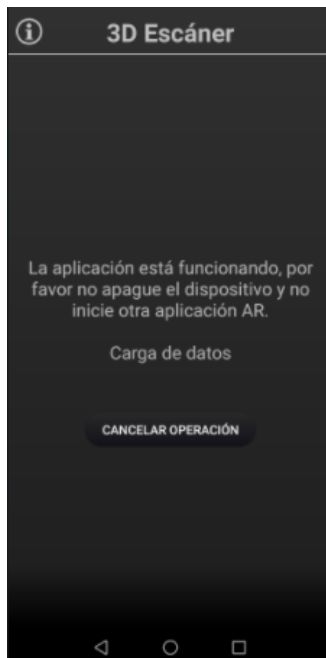


Fig. 36 Información de procesamiento del objeto 3D Escáner Live

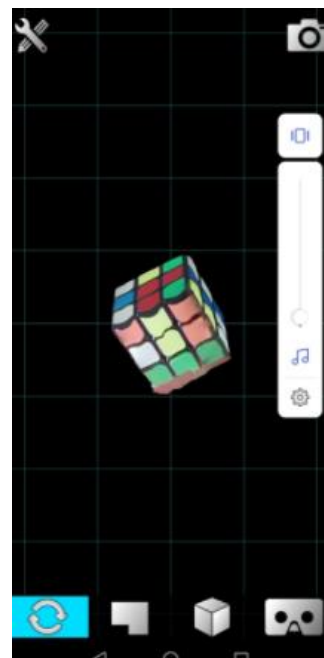


Fig. 35 Objeto 3D con 3D Escáner Live

Fuente: Propia

Tabla 5 Tabla de resultados 3D Escáner Live

	Característica
Tiempo de captura	12min
Tiempo de procesamiento	4 min
Ángulo de captura	70°
Distancia	16cm
Número de fotos	23

Fuente: Propia

- **3DScanLink**

Esta aplicación muestra un menú principal donde se debe seleccionar Photo Mode si se quiere capturar en ese instante.



Fig. 38 Captura del cubo 3DScanLink



Fig. 37 Subida de imágenes 3DScanLink



Fig. 39 Objeto 3D con 3DScanLink

Fuente: Propia

Tabla 6 Tabla de resultados 3DScanLink

	Característica
Tiempo de captura	10min
Tiempo de procesamiento	15 min
Ángulo de captura	70°
Distancia	16cm
Número de fotos	23

Fuente: Propia

- **Qlone**

Esta aplicación a diferencia de las antes mencionadas, requiere del uso de una plantilla base donde se coloca el objeto a ser escaneado. Tras ello, se pulsa en iniciar y se enfoca al objeto, mismo que está centrado en una esfera que aparece en pantalla. Se debe seguir las instrucciones en pantalla y tomar varias fotografías el objeto.

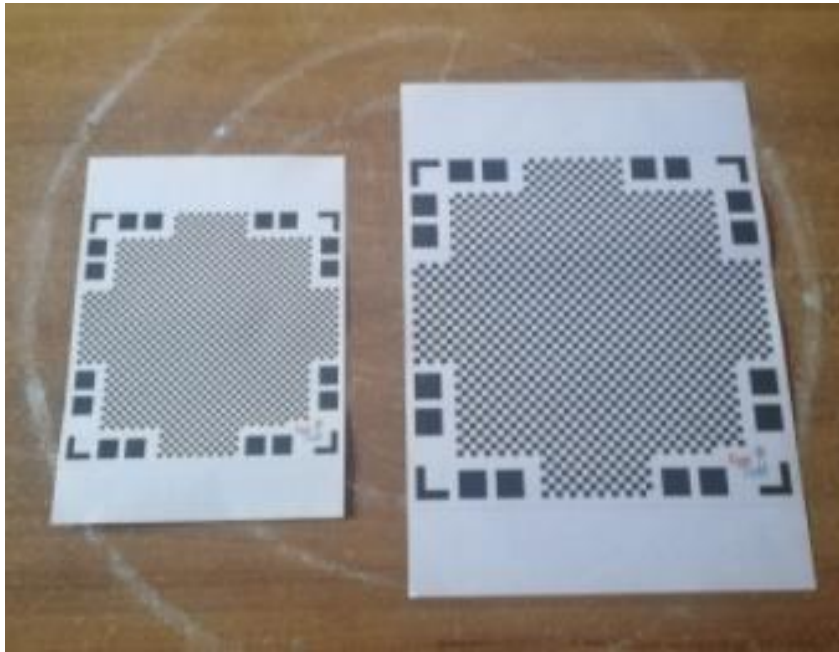


Fig. 40 Plantillas A4 y A3 Qlone

Fuente: Propia

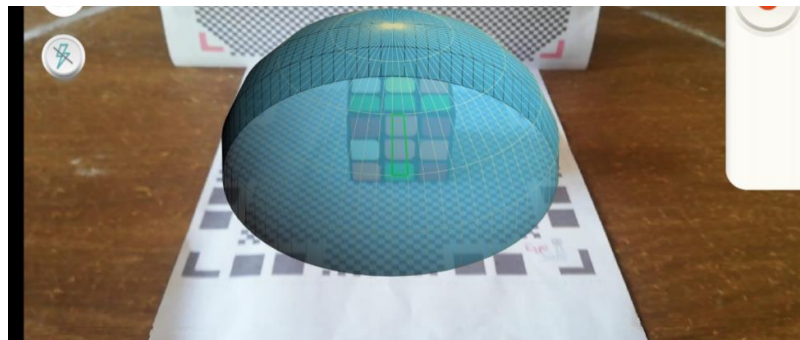


Fig. 41 Captura del cubo Qlone

Fuente: Propia

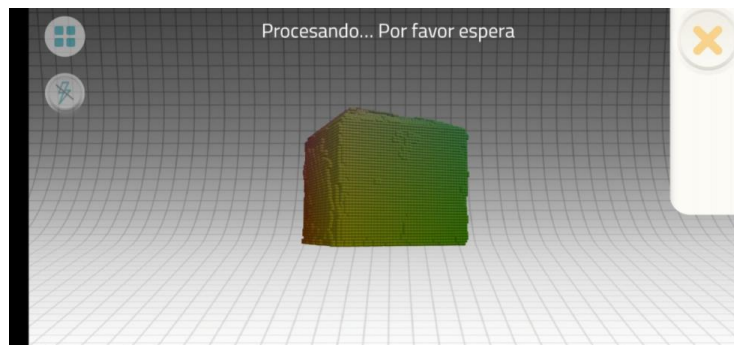


Fig. 42 Procesamiento cubo Qlone

Fuente: Propia

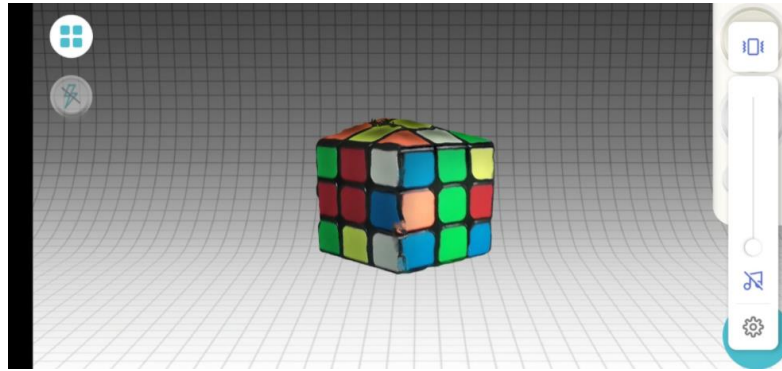


Fig. 43 Objeto 3D con Qlone

Fuente: Propia

Tabla 7 Tabla de resultados Qlone


	Característica
Tiempo de captura	8min
Tiempo de procesamiento	10 min
Distancia	16cm
Ángulo de captura	70°
Número de fotos	284

Fuente: Propia

2.3. Captura de objetos a diferentes distancias


2.3.1. Objetos a escanear

Tabla 8 Objeto 1

Objeto	Característica		
Niño Jesús 1	Color predominante	Tamaño	
	Crema	Alto	Ancho
		19 cm	11 cm


Fuente: Propia

Tabla 9 Objeto 2

Objeto	Característica		
Niño Jesús 2	Color predominante	Tamaño	
	Crema	Alto	Ancho
		15 cm	8 cm

Fuente: Propia

Tabla 10 Objeto 3

Objeto	Característica		
Niño Jesús 3	Color predominante	Tamaño	
	Crema	Alto	Ancho
		9 cm	6 cm

Fuente: Propia

- 3D Escáner Live



Fig. 46 Objeto 1 3D Escáner Live



Fig. 44 Objeto 2 3D Escáner Live



Fig. 45 Objeto 3 3D Escáner Live

Fuente: Propia

- **3DScanLink**



Fig. 49 Objeto 1 3DScanLink



Fig. 48 Objeto 2 3DScanLink



Fig. 47 Objeto 3 3DScanLink

Fuente: Propia

- **Qlone**

Las plantillas que usa Qlone se puede descargar desde su aplicación y se la puede imprimir de acuerdo con el tamaño del objeto que se desee escanear. Se debe ir haciendo capturas alrededor de la malla generada por la aplicación a modo de guía.



Fig. 52 Objeto 1 Qlone



Fig. 50 Objeto 2 Qlone



Fig. 51 Objeto 3 Qlone

Fuente: Propia

2.4. Prototipo de RA

2.4.1. Unity

Unity es un motor de desarrollo para la creación de videojuegos que ofrece una multitud de funciones para los desarrolladores, también es considerado un referente en cuanto a realidad virtual, en proyectos de arquitectura y diseño.

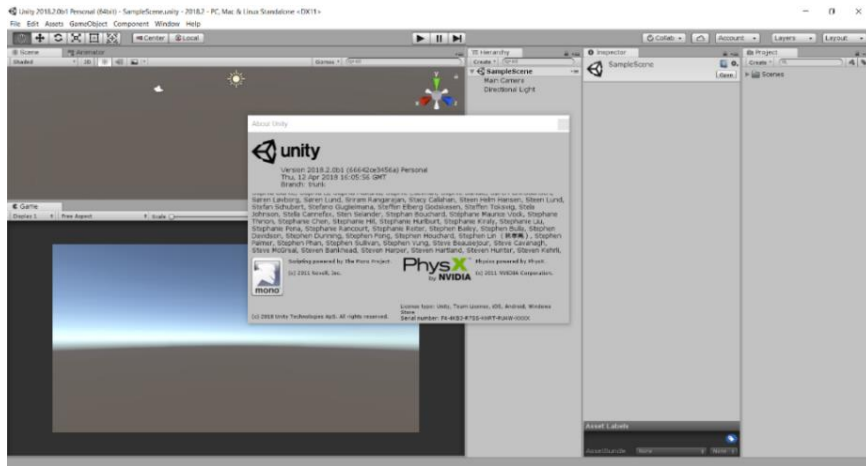


Fig. 53 Pantalla principal Unity

2.4.2. Unity Hub

Fuente: Propia

Unity Hub es una herramienta para la gestión de proyectos de Unity, además, agiliza la forma en la que se encuentra, descarga y administra los componentes e instalaciones, donde se permite crear nuevos proyectos y abrir proyectos existentes. También, puede agregar manualmente versiones del Editor que se hayan instalado previamente. (Unity, 2019)

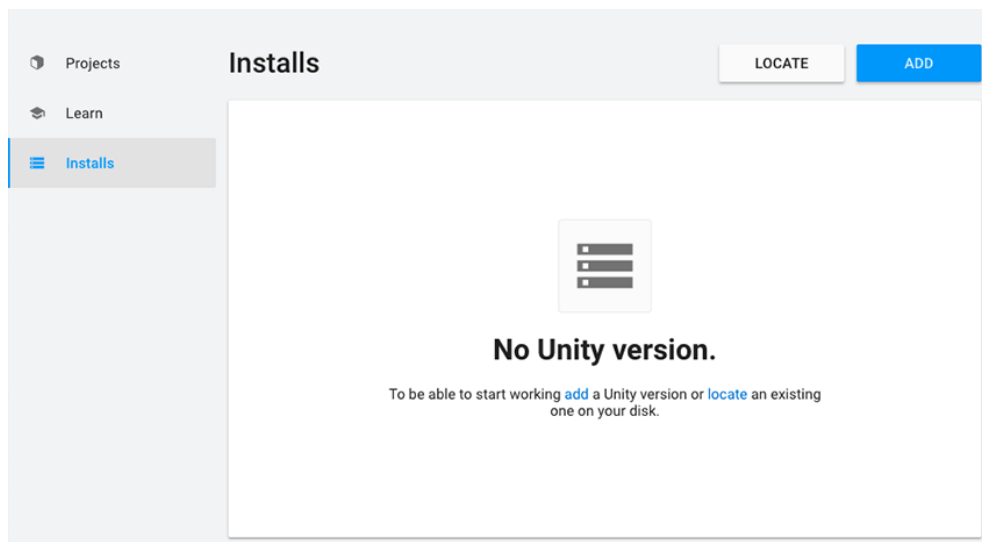


Fig. 54 Pantalla principal UnityHub

Fuente: Propia

2.4.3. Vuforia

Vuforia Unity es un kit de desarrollo de software (SDK) para dispositivos móviles que permite la creación de aplicaciones de realidad aumentada (AR). La integración de Unity en Vuforia le permite crear aplicaciones y juegos de visión para Android e iOS utilizando un flujo de trabajo de creación de arrastrar y soltar. (Unity, 2018)

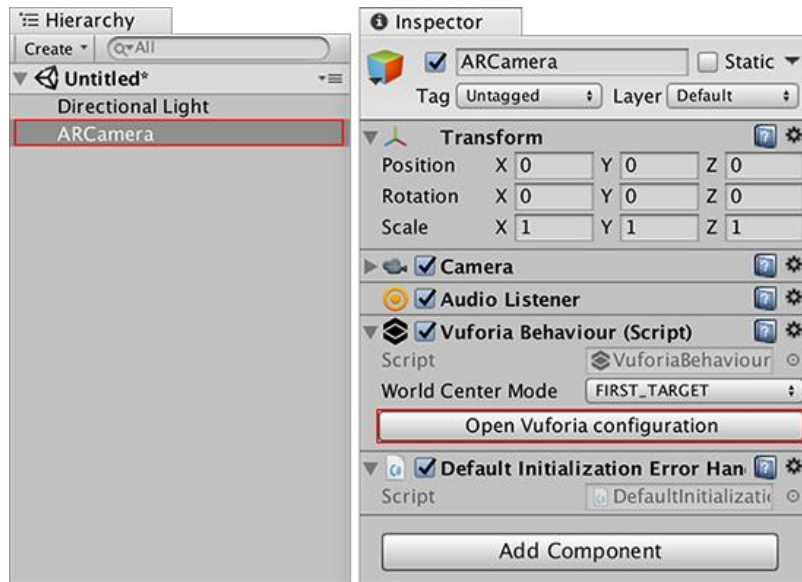


Fig. 55 Configuración de Vuforia

Fuente: Propia

2.4.4. Aplicación de RA

Gracias a la ayuda de Unity Hub que permite la gestión de proyectos, se creó un proyecto con la versión de Unity 2018.4.36f1 (Fig. 55) llamado appRA.

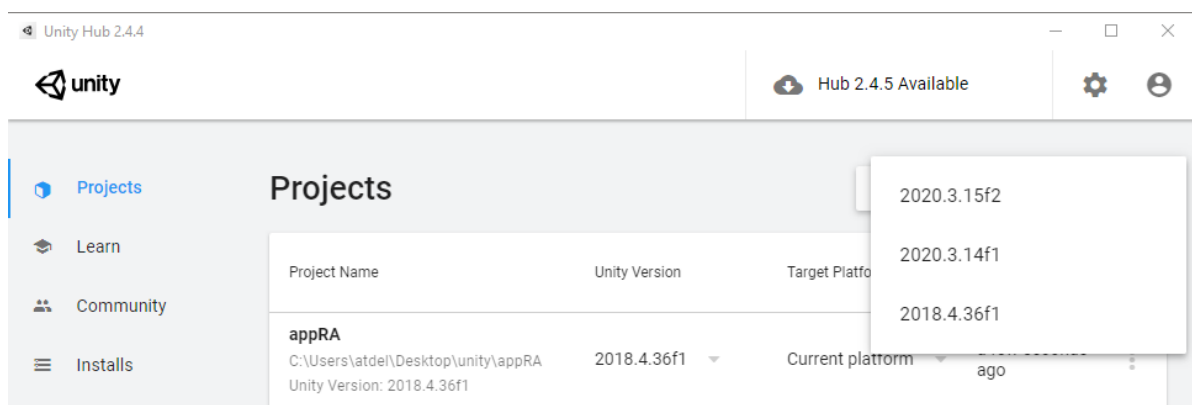


Fig. 56 Selección de la versión de Unity a usar

Fuente: Propia

La aplicación tiene como finalidad mostrar los objetos 3D generados por las tres aplicaciones estudiadas, por lo que se diseñó una interfaz sencilla que cuenta con nueve botones, mismos que hacen referencia a cada aplicación con el respectivo tamaño (grande, mediano, pequeño).

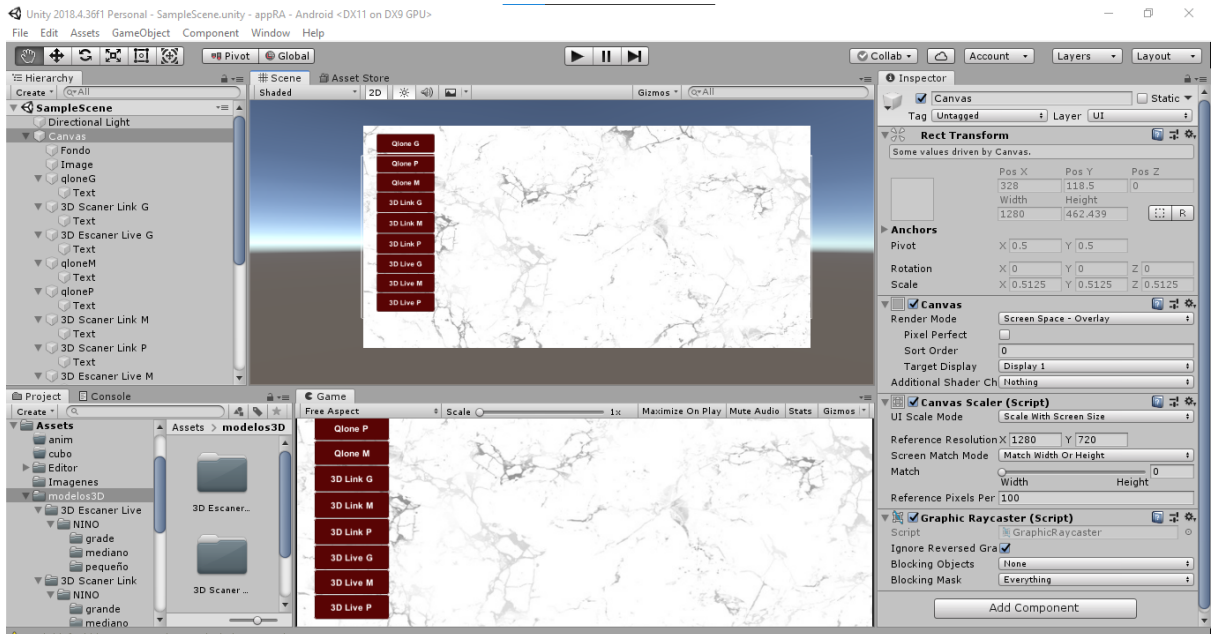


Fig. 57 Desarrollo de la interfaz

Fuente: Propia

Cuando se presiona cada botón, aparece el objeto 3D cargado anteriormente como un asset de Unity, que es un elemento el cual se puede usar en un juego o proyecto. Un asset puede provenir de un archivo creado fuera de Unity, como un modelo 3D, un archivo de audio, una imagen o cualquiera de los otros tipos de archivo compatibles con Unity. (Unity, s.f.)

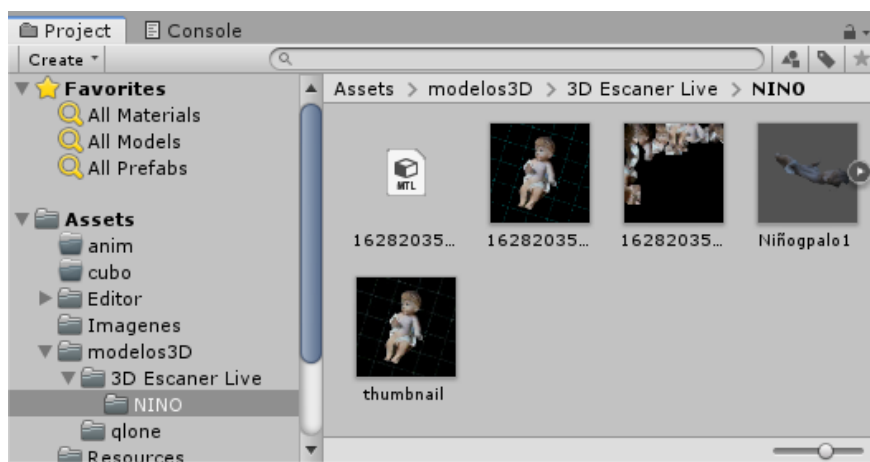


Fig. 58 Carga del objeto 3D

Fuente: Propia

Para que la aplicación funcione, Vuforia requiere un ImageTarget, que representa una imagen que Vuforia Engine puede detectar y rastrear. El motor detecta y rastrea la imagen comparando las características naturales extraídas de la imagen de la cámara con una base de datos de recursos de destino conocida.

Una vez que se detecta el objetivo de imagen, Vuforia Engine rastreará la imagen y colocará correctamente un objeto en RA en el espacio real. (PTC Inc., 2018)

Gracias a la opción para desarrolladores de Vuforia Engine y mediante una clave de licencia que se puede generar por medio de una cuenta, como se muestra en la Fig. 58, es posible hacer uso de esta herramienta mediante Unity.

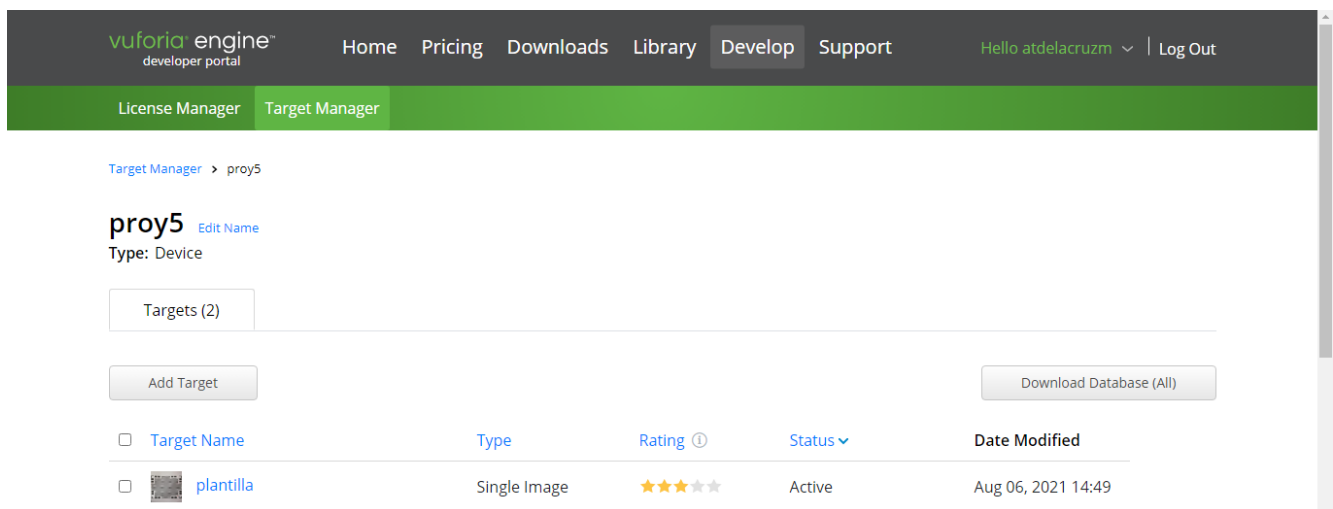


Fig. 59 Pantalla principal de Vuforia web

Fuente: Propia

Unity, permite exportar la aplicación para distintas plataformas por lo que facilita su instalación y uso, en este caso la aplicación fue exportada para Android con el nombre **appRA**. Al iniciar la aplicación en el teléfono, se visualiza una pantalla de inicio y se activa la cámara, misma que espera capturar el target.



Fig. 60 Ícono de la aplicación appRA

Fuente: Propia



Fig. 61 Pantalla principal de la aplicación

Fuente: Propia

Luego se pulsa el botón de la herramienta, para visualizar su correspondiente objeto 3D, y este se mostrará automáticamente en pantalla.



Fig. 62 Demostración de la aplicación

Fuente: Propia

CAPÍTULO 3

Validación de resultados

3.1. Metodología de evaluación

Con la finalidad de llevar a cabo la evaluación de los resultados obtenidos durante el estudio, es necesario hacer uso de una metodología de evaluación que permita medir de manera cuantitativa cada objeto realizado por las aplicaciones estudiadas.

La metodología que se usará como base para la evaluación, fue propuesta en el artículo denominado “Metodología de evaluación cuantitativa de modelos texturizados”, donde se presenta una metodología de evaluación y análisis de forma cuantitativa en la reconstrucción de modelos texturizados a partir la aplicación de algún método de mapeo de texturas. La metodología consiste en la definición de varias métricas, las cuales establecen la relación y correspondencia entre la información 3D y la textura. Las métricas presentadas son aplicadas a una sola imagen de rango o a un modelo texturizado completamente reconstruido. (Hernández & Prieto, 2007)

Cada una de las métricas presentadas en dicha investigación, deben ser adaptadas al presente estudio, tomando en cuenta que son investigaciones con fines, herramientas y desarrollos distintos.

3.1.1. Métricas de evaluación

- **Densidad**

Cuando hablamos de densidad en un objeto 3D, hacemos referencia a la cantidad de pixeles que se encuentran en un polígono, esta métrica establece el nivel de detalle que posee la textura sobre el modelo. Por lo que entre mayor sea el valor de la densidad mucho más alta es la información que aporta la textura al modelo.

Resultados

Para el cálculo de la densidad es necesario conocer el área y volumen de los modelos 3D, mismos que gracias a herramientas que permiten su visualización se logró obtener, este es el caso 3D Object Converter.

La fórmula para obtener la densidad es el área sobre el volumen, como indica la ecuación:

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

Tabla 11 Densidad de los objetos

	Pequeño	Mediano	Grande
3D Escáner Live	6,62	7,043	7,31
Qlone	0,23	0,29	3,1
3DScanLink	4,87	6,95	12, 66

Fuente: Propia

Cabe señalar que el objeto generado por 3DScanLink tiene una mayor densidad en el objeto grande debido a que sobrepasa el área del objeto a capturar, por lo que se genera un objeto 3D con área sobrante, que no pertenece únicamente al objeto grande si no también al ambiente.



Fig. 63 Objeto 3D con área del ambiente 3DScanLink

Fuente: Propia

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

Esta métrica cuantifica la cantidad de puntos proyectados sobre la imagen de intensidad, utilizando los datos que proporciona el escáner; donde hace una comparación de cuántos de estos puntos son parte de la textura que ha sido generada. Donde se toman valores entre el 0% y 100%, siendo que no existe textura o que la textura cubre completamente al modelo.

Resultados

En este punto, cabe señalar que la textura obtenida tras un escaneo 3D mediante las aplicaciones móviles, no es la misma que se obtiene tras el escaneo con un escáner físico, por lo que el mapa de textura siempre obtendrá un 100% para el modelo 3D, pero hay que tomar en cuenta que existen errores de escaneo donde además de escanear únicamente el objetivo, se escanea el escenario o ambiente donde se encuentra ubicado.

Tabla 12 UV Polígonos

Figura							
Aplicación	Pequeño		Mediano		Grande		
	Polígono	Uv Polígono	Polígono	Uv Polígono	Polígono	Uv Polígono	
3D Escáner	44802	44802	72268	72268	104336	104336	
Qlone	56376	56376	87840	87840	143472	143472	
3DScanLink	204055	204055	221482	221482	369648	369648	

Fuente: Propia

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

Esta métrica se aplica para evaluar la diferencia de los contornos del objeto con el del modelo 3D, es recomendable aplicarla en modelos de objetos que tienen formas y contornos bien definidos. El objetivo es hacer una comparación entre los contornos o formas.

Resultados

Para esta métrica, se contó con la ayuda del lenguaje de programación Python y varias librerías como OpenCv, Structural_similarity & Numpy, para poder detectar los contornos del objeto físico, además los del modelo 3D y de esta manera poder comparar la semejanza de los bordes.



Fig. 64 Forma 1 localizada con Python



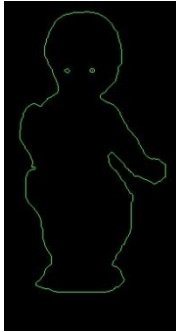


Fig. 66 Forma 2 localizada con Python



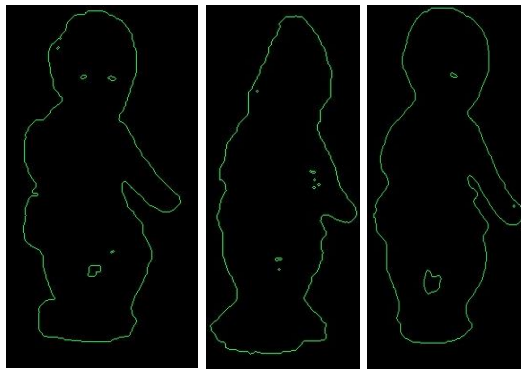
Fig. 65 Forma 3 localizada con Python

Fuente: Propia

Tabla 13 Porcentaje de similitud en forma

			Porcentaje
3D Escáner Live			
			Grande: 90.10%
			Mediano: 90.41%
			Pequeño: 90.17%
Grande	Mediano	Pequeño	

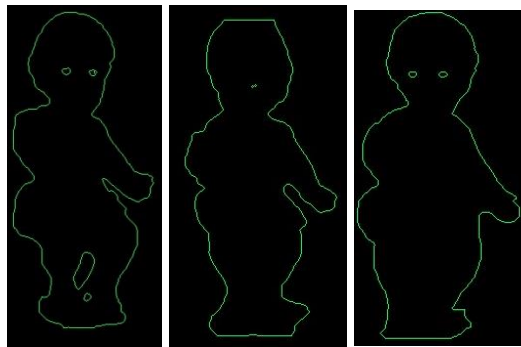
Qlone



Grande Mediano Pequeño

Grande: 89.94%
Mediano: 88.62%
Pequeño: 90.04%

3DScanLink



Grande Mediano Pequeño

Grande: 88.26%
Mediano: 90.83%
Pequeño: 90.64%

Fuente: Propia

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

Al igual que la métrica pasada, esta consiste en aplicar una comparación a nivel de curvas y detalles del objeto real con el modelo 3D, pero teniendo en cuenta el resto de los rasgos y curvas y no únicamente los bordes o contornos.

Resultados

Del mismo modo, se utilizó el lenguaje Python y las librerías: OpenCV y Structural_similarity, para realizar la detección de todas las curvas con las que cuente el objeto sólido, para su posterior comparación con los modelos 3D que se generaron.

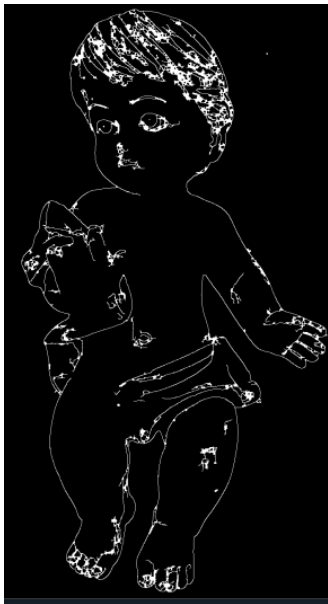


Fig. 68 Contornos 1 localizados con Python



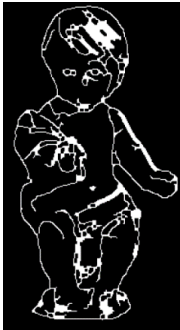
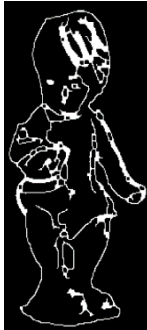

Fig. 69 Contornos 2 localizado con Python



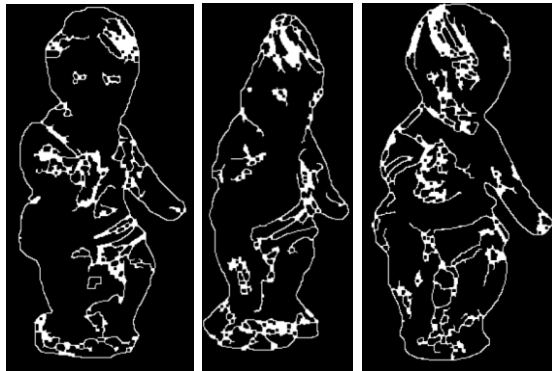
Fig. 67 Contorno 3 localizado con Python

Fuente: Propia

Tabla 14 Porcentaje similitud en curvas

			Porcentaje
3D Escáner Live			
			
Grande	Mediano	Pequeño	
			Grande: 58,25%
			Mediano: 66,36%
			Pequeño: 63,23%

Qlone

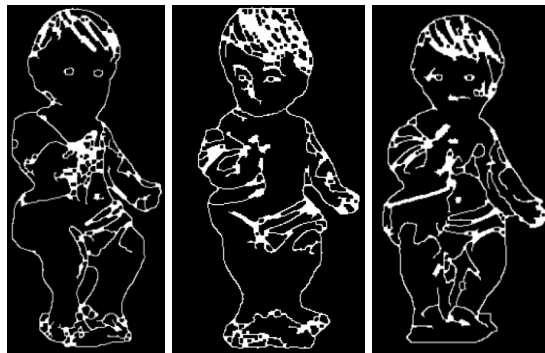


Grande: 58,01%

Mediano: 58,64%

Pequeño: 58,05%

3DScanLink



Grande: 54,73%

Mediano: 63,13%

Pequeño: 59,64%

Fuente: Propia

A continuación, se presenta un resumen de los tiempos empleados por las aplicaciones en la tabla 18 y los resultados tras la aplicación de la métrica en la tabla 19.

Tabla 15 Tiempo empleado por las aplicaciones

Aplicación	Tiempo de captura	Tiempo de procesamiento	Total
Qlone	8min	10min	18min
3DScanLink	10min	15min	25min
3D Escáner Live	12min	4min	16min

Fuente: Propia

Tabla 16 Resumen de las métricas

Característica	Aplicación								
	3D Escáner Live			3DScanLink			Qlone		
	Obj 3	Obj 2	Obj 1	Obj 3	Obj 2	Obj 1	Obj 3	Obj 2	Obj 1
Densidad	6,62	7,043	7,31	4,87	6,95	12, 66	0,23	0,29	3,1
Puntos texturados	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Contornos	90.17%	90.41%	90.10%	90.64%	90.83%	88.26%	90.04%	88.62%	89.94%
Bordes de Textura	63,23%	66,36%	58,25%	59,64%	63,13%	54,73%	58,05%	58,64%	58,01%

Fuente: Propia

3.2. Análisis de impacto

En el presente estudio se realiza un análisis de impacto a nivel: social y tecnológico, por lo cual se analizan varios aspectos con relación a un impacto social y tecnológico, mismos que se tomarán en cuenta para poder determinar si el estudio influye de manera positiva o negativa, de acuerdo con la Tabla 15.

Tabla 17 Tabla de definición de variables y valores para impacto

Impacto	Valor
-3	Impacto alto negativo
-2	Impacto medio negativo
-1	Impacto bajo negativo
0	Neutro
1	Impacto bajo positivo
2	Impacto medio positivo
3	Impacto alto positivo

Fuente: (Maldonado E. , 2020)

Para poder determinar de manera matemática el nivel de impacto, se crea una matriz para cada aspecto a evaluar, donde constan indicadores que permitan evaluar dicho aspecto. Cada indicador deberá ser calificado de acuerdo con el nivel de impacto que presente, dicho valor será sumado y este resultado se dividirá para el número total de indicadores, el valor resultante de la división será el nivel de impacto presente.

- **Impacto social**

Tabla 18 Impacto social

Indicador	Nivel de impacto							
	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
Publicidad futurista							X	3
Total							3	3

Fuente: (Maldonado E. , 2020)

Suma del valor de impacto social: 3/1

Total del nivel de impacto social: 3

Nivel de impacto social: Alto positivo.

La realidad aumentada tiene un gran impacto a nivel social ya que interviene en sectores potenciales como lo son la educación, la salud y el turismo, mediante proyectos y aplicaciones que son usadas para fortalecer los procesos en estas áreas estratégicas, una de estas áreas es la publicidad donde si agrupamos el hecho de poder escanear objetos y convertirlos a modelos 3D y el uso de la RA, se puede lograr una experiencia más intensa, novedosa y genera un impacto aún mayor al consumidor.

- **Impacto tecnológico**

Tabla 19 Impacto tecnológico

Indicador	Nivel de impacto							Total
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
Uso de nueva tecnología							X	3
Transferencia tecnológica							X	3
Total							6	6

Fuente: (Maldonado E. , 2020)

Suma del valor de impacto tecnológico: 6/2

Total del nivel de impacto tecnológico: 3

Nivel de impacto tecnológico: Alto positivo

Este estudio permite generar nuevo conocimiento para poder identificar herramientas tecnológicas como las aplicaciones móviles que están enfocadas a la captura de imágenes y conversión a objetos 3D. Dando una alternativa a la utilización de métodos tradicionales como aplicaciones de escritorio y haciendo uso de la tecnología emergente como la realidad aumentada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- **Conclusiones**

El uso de las distintas herramientas tecnológicas, así como la relación y aplicación de los conceptos básicos que preceden este estudio, fueron un factor clave para poder llevar a cabo este proyecto.

Durante el sondeo de las aplicaciones en la plataforma PlayStore, se encontraron varios puntos a considerar, como son: Aplicaciones como Qlone y 3D Escáner Live no están disponibles para todos los dispositivos Android, algunas aplicaciones tienen publicidad engañosa y no funcionan de acuerdo con lo que ofertan en su descripción, y de acuerdo con los términos de búsqueda y puntuación, se pueden filtrar las aplicaciones. A demás ninguna de las aplicaciones permitió el escaneo de 360 grados al objetivo sólido.

El tiempo de captura es un factor importante cuando se trabaja con aplicaciones ya sean móviles o plataformas web, y en este estudio se obtuvo que el mejor tiempo de captura y generación del objeto 3D fue 3D Escáner Live con un tiempo de 16 minutos en todas sus capturas.

La densidad es una de las métricas que se evaluó en este estudio, y la aplicación 3D Escáner Live obtuvo la mayor densidad en dos de sus tres objetos, a comparación de las otras dos aplicaciones.

En cuanto a la similitud del diseño 3D con el objeto real, 3D Escáner Live obtuvo el mayor porcentaje de similitud con el 90.1% en el objeto grande, el 90.41% en el objeto mediano y el 90.16% en el objeto pequeño, en cuanto a la forma.

3D Escáner Live, además obtuvo un 58,26% en el objeto grande, en el mediano un 66,36% y en el pequeño un 63,23% en cuanto a los bordes, y un 90,10% en el objeto grande, en el mediano un 90,41% y en el pequeño un 90,17% en cuanto a los contornos, y con respecto a la textura, al igual que las demás aplicaciones, obtuvo el 100% y en la densidad, fue la

aplicación que obtuvo más densidad en dos de sus tres objetos. A demás del tiempo empleado, es la aplicación que emplea menor tiempo para obtener el modelo 3D. Por lo que en conclusión es la aplicación que genera un modelo 3D de mejor calidad.

- **Recomendaciones**

Para el desarrollo de aplicaciones de RA se recomienda el uso de Vuforia y Unity ya que presentan una variedad amplia de funciones y opciones para desarrolladores, el uso de esta herramienta no presenta gran complejidad y su documentación está disponible en sus respectivos sitios web.

Evitar el uso de versiones de Unity que no sean compatibles con su sistema Operativo, por la falta de documentación, soporte, inconvenientes y pérdida de tiempo en el desarrollo, en este caso dichas versiones son: 2020.3.15f2 y 2020.3.14f1.

Aplicar tanto la misma iluminación, distancia y número de fotografías para obtener un resultado equitativo en todos los casos, con el fin de no alterar el modelado de los objetos 3D.

Bibliografía

- Almeida, A. S. (2018). *Modelamiento con objetos 3D de los recursos lacustres de la provincia de Imbabura que permita asociarlos mediante marcas para la visualización en las herramientas de realidad aumentada a través de un aplicativo móvil (Título profesional)*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8749/1/04%20ISC%20495%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Autodesk. (3 de Abril de 2019). *Acerca de la creación de superficies NURBS*. Obtenido de Autodesk: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/AutoCAD-Core/files/GUID-9EBC2243-B6BA-4A32-9300-8FAF15B2760F-htm.html>
- Balaguer, M. (01 de Junio de 2017). *Fotogrametría de Objeto Cercano: Conceptos básicos*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/82148/Balaguer%20-%20Fotogrametr%c3%ada%20de%20Objeto%20Cercano%3a%20Conceptos%20b%c3%a1sicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ballester, A. C. (2016). PRÁCTICA Y USOS DE LA FOTOGAMETRÍA DIGITAL EN ARQUEOLOGÍA. *DOCUMENTOS DE ARQUEOLOGÍA Y PATRIMONIO HISTÓRICO DEL MÁSTER UNIVERSITARIO EN ARQUEOLOGÍA PROFESIONAL Y GESTIÓN INTEGRAL DEL PATRIMONIO DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE*, 139-157.
- Bermejo, P. J. (2018). *Modelado 3D correcto*. Obtenido de Universidad Computense de Madrid: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/62873/1/Modelar%20correctamente.pdf>
- Bucco, M. (2016). *La impresión 3D y su aplicación en los servicios médicos(prótesis, fármacos, órganos) (Tesis de Maestría)*. Obtenido de <https://repositorio.udesa.edu.ar/jspui/bitstream/10908/11878/1/%5bP%5d%5bW%5d%20T.M.%20Ges.%20Bucco,%20Mariano.pdf>
- Carrión, G. (2018). *COMPARATIVA DE TRES HERRAMIENTAS DE REALIDAD AUMENTADA UTILIZANDO UNA METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE SOFTWARE ISO 25010*. Obtenido de Repositorio UTN: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8750/1/04%20ISC%20494%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- CEUPE. (s.f.). *¿Qué es la fotogrametría analítica y digital?* Obtenido de CEUPE Magazine: <https://www.ceupe.com/blog/fotogrametria-analitica-y-digital.html>
- Chamorro, S. J. (28 de Junio de 2016). *Desarrollo del modelado, animación y texturizado de los diferentes actores y escenarios que intervienen en el videojuego Llumpak (Título*

- profesional*). Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6572/1/T-UCE-0011-24.pdf>
- ESIC. (Febrero de 2018). *Modelado 3D que es como funciona y la vida mas alla de pixar*. Obtenido de ESIC: <https://www.esic.edu/rethink/tecnologia/modelado-3d-que-es-como-funciona-y-la-vida-mas-alla-de-pixar>
- Esquivel, F. J., Alarcón, L., Esquivel, J. A., & Fernández, M. I. (2019). Arqueología virtual en la terra sigillata y aplicaciones estadísticas. Láser escáner vs Fotogrametría. *Lucentum*, 243. doi: <https://doi.org/10.14198/LVCENTVM2019.38.11>
- GrafismoDigital. (28 de Marzo de 2016). *Modelado Poligonal*. Obtenido de Grafismo Digital: <https://grafismodigital.wordpress.com/2016/03/28/modelado-poligonal/>
- Hélicéo. (2016). *Fotogrametría*. Obtenido de Hélicéo: http://www.heliceo.com/wp-content/uploads/2016/11/photogrammetrie_drone1.jpg
- Hélicéo. (2016). *FoxyWalk, solución para la fotogrametría terrestre*. Obtenido de Hélicéo: <http://www.heliceo.com/es/produits-pour-geometres/foxywalk-fotogrametria-terrestre/>
- Hernández, J., & Prieto, F. (2007). Metodología de evaluación cuantitativa de modelos texturados. *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, 74(151), 115-124. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4599081>
- Imam, E. (2021). Introduction To Aerial Photographs. En NCERT, *Fotografía Aérea y Fotogrametría* (págs. 70-71).
- Introbrand. (8 de Febrero de 2018). *From Toy Story to Terminator: The 3D Animation History*. Obtenido de Introbrand: <https://www.introbrand.com/blog/3d-animation-history/>
- Jauregui, L. (sf). *Introducción a la Fotogrametría*. Obtenido de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/CAPITULO1.pdf>
- Jestereo. (s.f.). *Huawei P20 Lite Negro 32 GB ROM*. Obtenido de Jestereo: <https://www.jetstereo.com/celulares-huawei-p20-lite-color-negro>
- Krichenbauer, M., Yamamoto, G., Taketom, T., Sandor, C., & Kato, H. (2018). Augmented Reality versus Virtual Reality for 3D Object Manipulation. *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, 1038-1048. doi:<https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2658570>
- Maldonado, E. A. (Febrero de 2016). *MODELADO 3D DE PIEZAS ARQUEOLÓGICAS COMO REGISTRO PARA EL MUSEO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA (Título*

- profesional). Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23724/1/Edwin%20Tenesaca%20Tesis.pdf>
- Martínez, L. (09 de Junio de 2020). *Animación 2D y 3D: ¿qué son y cuáles son sus diferencias y utilidades?* Obtenido de Domestika: https://www.domestika.org/es/blog/3894-animacion-2d-y-3d-que-son-y-cuales-son-sus-diferencias-y-utilidades?fbclid=IwAR2r0xopb11cefWdPpbkKulPB6TQNP38Y_Yr9yNHMBfWjU12S2Y-eGOVKaU
- Medrano, L. (2019). *¿Qué es el mapeo UV en el modelado 3D y cuál es su propósito?* Obtenido de Quora: <https://es.quora.com/Qu%C3%A9-es-el-mapeo-UV-en-el-modelado-3D-y-cu%C3%A1l-es-su-prop%C3%B3sito>
- Méndez, V. H., & Guzmán, E. G. (Marzo de 2019). Realidad Aumentada y Objetos 3D como uso educativo. *CERTUS*, 94-102. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/334107261_REALIDAD_AUMENTADA_Y_OBJETOS_3D_COMO_USO_EDUCATIVO
- MGVA. (2017). *Las diferencias entre la animación 2D y la 3D*. Obtenido de Motions Graphics Video: <https://motion-graphics.video/las-diferencias-entre-la-animacion-2d-y-la-3d/>
- Neosentec. (2020). *Realidad Aumentada*. Obtenido de Neosentec: <https://www.neosentec.com/realidad-aumentada/>
- ONU. (2019). *Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación*. Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- Palma, J. E. (23 de Septiembre de 2017). *¿ QUÉ ES 3D ?* Obtenido de Dweb3d: <https://www.dweb3d.com/blog/que-es-3d/>
- Perez, A. L., Florian, A. T., Pérez, M. C., Ramirez, J. A., Pahuana, K. J., & Guerrero, R. (2019). Proyecto: uso de la técnica de Fotogrametría para la difusión del patrimonio y su promoción turística en Guanajuato. *Jóvenes en la Ciencia*, 1-9. Obtenido de <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3078/2540>
- PTC Inc. (2018). *Image Targets*. Obtenido de Vuforia Developer Library: <https://library.vuforia.com/features/images/image-targets.html>
- Quirós, E. (10 de Febrero de 2015). Cámaras fotométricas analógicas. En E. Quirós, *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil* (pág. 73).

- Cáceres: Universidad de Extremadura. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/272090105_Introduccion_a_la_Fotogrametria_y_Cartografia_aplicadas_a_la_Ingenieria_Civil
- Revopoint 3D Technologies Inc. (2021). *Handy Scan—Escáner 3D APP*. Obtenido de Google Play:
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.revopoint3d.handyscan&hl=es_EC&gl=US
- Reyes, A. (2014). *Fotogrametría Digital*. Obtenido de División de Ingenierías Civil y Geomática: http://dicyg.fi-c.unam.mx:8080/areyes/apuntes/Fotogrametra_Digital.pdf
- Roberts, J., Koeser, A., Abd-Elrahman, A., Wilkinson, B., Hansen, G., Landry, S., & Perez, A. (2019). Mobile Terrestrial Photogrammetry for Street Tree Mapping and Measurements. *Forests*, 2-3.
- Ruiz, J., López, M. S., Quesada, E., Pereira, J., Fernandez, S., Pitarch, À., . . . Dólera, A. (2016). *4D • Arte rupestre*. Murcia: Monografías CEPA.
- Safdari, M., Najafi, A., Sottos, N., & Geubelle, P. (2016). A NURBS-based generalized finite element scheme for 3D. *Journal of Computational Physics*, 373-390. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcp.2016.05.004>
- Ultimate History of CGI. (05 de Febrero de 2018). *Computer Animated Hand (1972) - First polygonal 3D animation [Archivo de vídeo]*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=fAhyBfLFyNA&t=14s>
- Unity. (2018). *Vuforia*. Obtenido de Unity Documentation: <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/vuforia-sdk-overview.html>
- Unity. (2019). *Unity Hub*. Obtenido de Unity Documentation: <https://docs.unity3d.com/es/2019.4/Manual/GettingStartedUnityHub.html>
- Unity. (s.f.). *Guía rápida para la Asset Store de Unity*. Obtenido de Unity 3D: <https://unity3d.com/es/quick-guide-to-unity-asset-store>
- UNNE. (s.f.). *PRINCIPIOS DE FOTOGRAMETRÍA*. Obtenido de Centro de Geociencias Aplicadas:
<http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte01/fotom.pdf>
- Vargas, L., Soto, A., Ángel, J. D., & Peralta, J. (2018). Modelado 3D, una introducción al proceso para construir y transformar imágenes. Obtenido de https://www.ecorfan.org/proceedings/proccedings_Ingenieria_TI/Proceedings_Ingenieria_TI_10.pdf

- Vegas, E. (7 de Junio de 2020). *Fotogrametría para Realidad Aumentada y Virtual*. Obtenido de Emiliusvgs: <https://emiliusvgs.com/fotogrametria-realidad-aumentada-virtual/>
- Vera, B. A., Ibáñez, E. B., & Parada, I. K. (2015). Metodología para documentación 3D utilizando fotogrametría digital. *Tecnura*, 113-120. doi:<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a09>
- Vervi. (s.f.). *LEVANTAMIENTO FOTOGRAFICO CON DRONE*. Obtenido de Ingeniería Vervi: <https://www.ingenieriavervi.com/producto/detalle/13>
- Zelaya, C., Aguilar, R. A., Cruz, A. E., & Ricardo, N. (Agosto de 2016). APLICACIÓN DE FOTOGRAFÍA AÉREA EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS. El Salvador.
- Zuza, M. (2018 de Marzo de 2018). *Photogrammetry – 3D scanning with just your phone/camera*. Obtenido de Prusaprinters: https://blog.prusaprinters.org/photogrammetry-3d-scanning-just-phone-camera_7811/

ANEXOS

ANEXO A: Cálculo de la densidad

		Área	Volumen	Resultado
Pequeño	3D Escáner Live	10,91	1,66	6,57
	Qlone	56384,90	18186,56	3,10
	3DScanLink	48,4016	9,9248	4,87
		Área	Volumen	Resultado
Mediano	3D Escáner Live	9,72	1,38	7,04
	Qlone	8221,60	27926,90	0,29
	3DScanLink	38,93	5,6	6,95
		Área	Volumen	Resultado
Grande	3D Escáner Live	11,93	1,63	7,31
	Qlone	13366,39	56909,74	0,23
	3DScanLink	429,96	33,94	12,66

ANEXO B: Descripción de los polígonos & UV

QLONE										
		Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
	Object #1	Pequeño	51889	0	51889	0	56376	56376	3	3
	Total:		51889	0	51889	0	56376	56376	3	3
		Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
	Object #1	Mediano	89578	0	89578	0	87840	87840	3	3
	Total:		89578	0	89578	0	87840	87840	3	3
		Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
	Object #1	Grande	152001	0	152001	0	143472	143472	3	3
	Total:		152001	0	152001	0	143472	143472	3	3

3DSCANLINK										
		Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Object #1		Pequeño	105309	0	105309	0	204055	204055	3	3
Total:			105309	0	105309	0	204055	204055	3	3
		Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Object #1		Mediano	113965	0	113965	0	221482	221482	3	3
Total:			113965	0	113965	0	221482	221482	3	3
		Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Object #1		Grande	175264	0	175264	0	339648	339648	3	3
Total:			175264	0	175264	0	339648	339648	3	3
3D Escáner Live										
		Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Object #1		Pequeño	23474	0	23474	0	44802	44802	3	3
Total:			23474	0	23474	0	44802	44802	3	3
		Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Object #1		Mediano	38636	0	38636	0	72268	72268	3	3
Total:			38636	0	38636	0	72268	72268	3	3
		Name	Vertices	Vert. Colors	UV Vertices	V. Bone Weights	Polygons	UV Polygons	Smallest P.	Largest P.
Object #1		Grande	54272	0	54272	0	104336	104336	3	3
Total:			54272	0	54272	0	104336	104336	3	3

ANEXO C: Detección de forma con Python

```
1 import cv2
2 import numpy as np
3 import imutils
4 #Cargar la imagen
5 imagen = cv2.imread('nglive.jpeg')
6 #Conversión de la imagen a escala de grises
7 img_grey = cv2.cvtColor(imagen,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
8 #Establecer un umbral
9 umbral = 28
10 #Obtener el umbral de la imagen
11 ret,umbral_img = cv2.threshold(img_grey, umbral, 255, cv2.THRESH_BINARY)
12 #Encontrar la forma
13 contornos, jerarquia = cv2.findContours(umbral_img, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
14 #crear una imagen vacía para dibujar la forma
15 img_contornos = np.zeros(imagen.shape)
16 # Dibujar la forma en la imagen vacía
17 cv2.drawContours(img_contornos, contornos, -1, (75, 255, 0), 1)
18 #Guardar la forma
19 cv2.imwrite('C:\\Users\\atdeL\\Desktop\\Tesis\\Python\\contorno5.jpg',img_contornos)
```

ANEXO D: Detección de contornos y bordes con Python

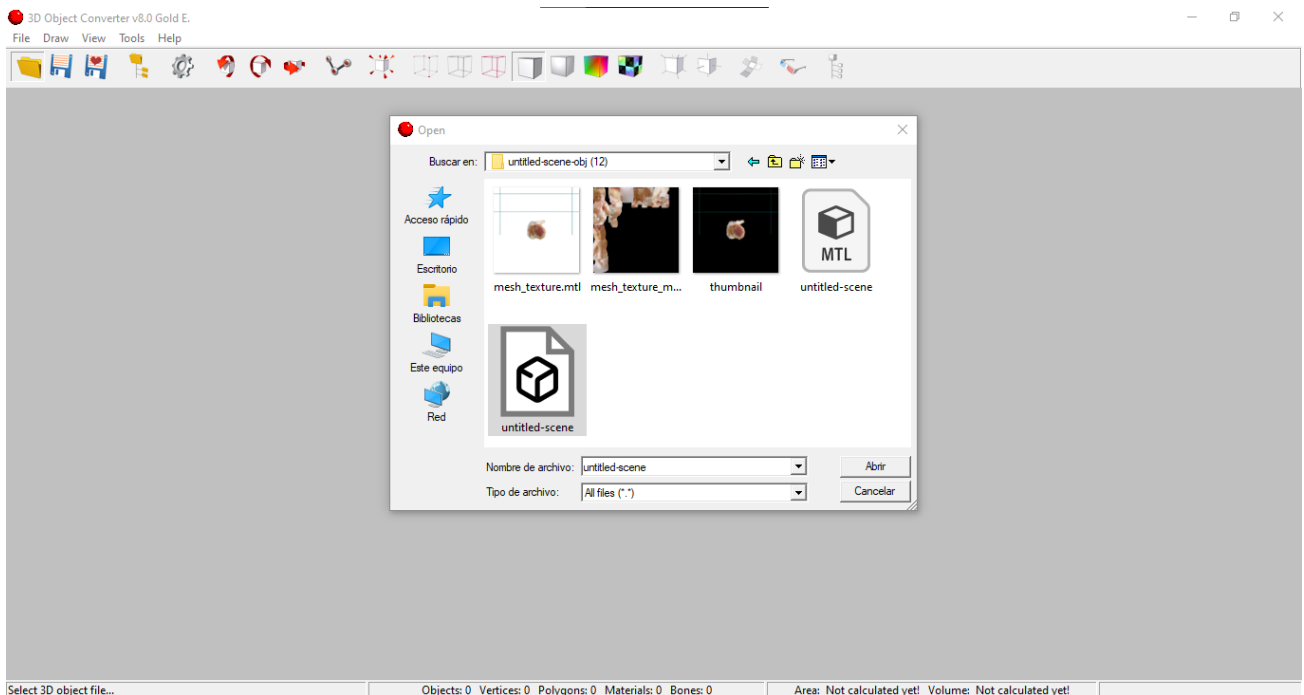
```
1 import cv2
2 import numpy as np
3 import imutils
4 #Cargar la imagen
5 imagen = cv2.imread('ngll.jpeg')
6 #Conversión de la imagen a escala de grises
7 gray = cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
8 #Detección de los bordes con canny
9 canny = cv2.Canny(gray, 10, 150)
10 #Aplicación de dilatación
11 canny = cv2.dilate(canny, None, iterations=1)
12 #Aplicación de eroción
13 canny = cv2.erode(canny, None, iterations=1)
14 imge = imutils.resize(canny,width=300)
15 #Guardar los contornos en una nueva imagen
16 cv2.imwrite('C:\\Users\\atdeL\\Desktop\\Tesis\\Python\\borde5.jpg',imge)
17 cv2.waitKey(0)
18 cv2.destroyAllWindows()
```

ANEXO E: Comparar resultados con Python

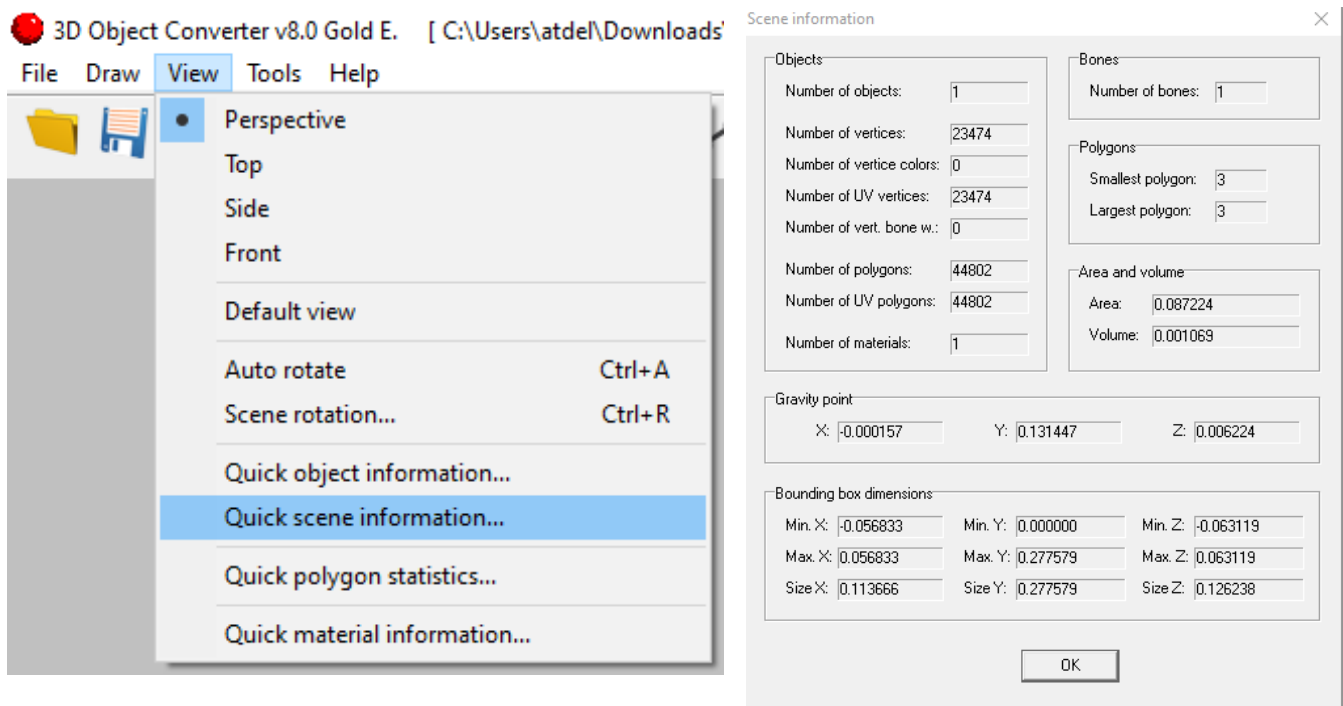
```
1 from skimage.metrics import structural_similarity
2 from skimage.transform import resize
3 import cv2
4 #Crear función que reciba 2 parámetros
5 def structural_sim(img1, img2):
6     #Compara la estructura similar que posean las imágenes
7     sim, diff= structural_similarity(img1, img2, full=True)
8     return sim
9 #Abrir las imágenes que se cargaron
10 img00= cv2.imread('boriginalpequeno.jpg',0)
11 img01= cv2.imread('blinkpequeno.jpg',0)
12 #Cambiar el tamaño para que sean simétricas
13 img5 = resize(img01, (img00.shape[0], img00.shape[1]), anti_aliasing=True, preserve_range=True)
14 #Ejecuta la función
15 ssim = structural_sim(img00, img5)*100
16 #Imprime el resultado
17 print("Porcentaje de similitud: ", round(ssim,2))
18 cv2.imshow("img", img00)
19 cv2.waitKey(0)
20 cv2.destroyAllWindows()
```

ANEXO F: Obtener información del objeto 3D a través del visor 3D Object Converter

Primero se carga el objeto 3D haciendo clic file y luego en open.



Una vez cargado el objeto 3D se puede acceder a su información, haciendo clic en view y luego en Quick scene information donde se desplegará una tabla de información.



Para que se muestre la información como el área y el volumen, se debe ir a tools, luego a options y en view seleccionar "Automatically calculate the Area and Volume values".

