



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN DE
MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS
ENTRE EL MÉTODO MANUAL,
ESCANEADO FACIAL CON
APLICATIVO MÓVIL Y ESCÁNER
FACIAL

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRA EN ESTOMATOLOGÍA

ANDREA ROSALES ROJAS

LIMA – PERÚ

2025

ASESOR

MG. CARLOS YURI LIÑAN DURAN

CO ASESOR

MG. PABLO ARMANDO CHAVEZ ALAYO

JURADO DE TESIS

MG. LEYLA ANTOINETTE DELGADO COTRINA
PRESIDENTE

MG. HANZ OLIVERA CHACON
VOCAL

MG. SHEREEN AWUAPARA FLORES
SECRETARIO (A)

DEDICATORIA.

A la memoria de mis abuelos Fely, José y Víctor.

AGRADECIMIENTOS.

A la Dra. Ana Linares por el apoyo con el préstamo del escáner facial para la presente investigación y uso de los ambientes de su empresa.

A mi familia y asesores por todo el apoyo brindado a lo largo del programa.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Tesis Autofinanciada



DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	ROSALES ROJAS ANDREA

(Agregar filas adicionales si hay más autores)

Pertenecientes al programa de la **MAESTRÍA EN ESTOMATOLOGÍA**, autores del trabajo titulado: **COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN DE MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS ENTRE EL MÉTODO MANUAL, ESCANEADO FACIAL CON APLICATIVO MÓVIL Y ESCÁNER FACIAL**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el grado de **MAESTRA EN ESTOMATOLOGÍA** bajo la modalidad de **TESIS**.

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	LIÑAN DURAN CARLOS YURI	FAEST	MAESTRÍA
2.	CHAVEZ ALAYO PABLO ARMANDO	FAEST	MAESTRÍA

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **6%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **2828976505**; fecha de entrega: **27-11-2025**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 27 de noviembre de 2025**

Firma del asesor
N° DNI: 10490448
ORCID: 0000-0003-2669-842X

Firma del Co-asesor
N° DNI: 41664570
ORCID: 0009-0003-2158-1684

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS.....	6
III.	MARCO TEÓRICO.....	7
IV.	METODOLOGÍA	28
	4.1 TIPO Y DISEÑO DEL ESTUDIO.....	28
	4.2. POBLACIÓN.....	28
	4.3. MUESTRA.....	28
	4.4. UNIDAD DE ANÁLISIS.....	29
	4.5. CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	29
	4.6. VARIABLES.....	29
	4.7. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS.....	30
	4.8. CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	39
	4.9. PLAN DE ANÁLISIS.....	39
V.	RESULTADOS	40
VI.	DISCUSIONES.....	45
VII.	CONCLUSIONES.....	55
VIII.	RECOMENDACIONES	56
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
X.	ANEXOS	

RESUMEN

Objetivo: Comparar la precisión de mediciones antropométricas faciales entre el método manual, escaneo facial con un aplicativo móvil y con un escáner facial.

Metodología: Se realizó un estudio observacional, analítico y transversal. Los participantes fueron 20 estudiantes y docentes del Centro Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Un operador capacitado y calibrado midió 5 distancias de 9 puntos antropométricos faciales, utilizando 3 métodos: medición manual con un vernier digital (IP54-Black, Qfun), medición en 3D utilizando un escáner facial (RayFace, Ray) y una aplicación (Qlone, EyeCue Vision Technologies LTD) en un teléfono inteligente (Iphone 14Pro, Apple). Se estandarizaron las condiciones del ambiente y protocolo de cada método. Los escaneos del teléfono inteligente se exportaron al programa Meshlab para realizar las mediciones. Se aplicó las pruebas de Shapiro Wilk, prueba de ANOVA y prueba post hoc de Tukey, para el análisis estadísticos de los datos. **Resultados:** No hubo diferencias estadísticamente significativas en la precisión de las mediciones antropométricas entre los 3 métodos ($p > 0.05$); pero sí en el tiempo de medición ($p < 0.001$) entre el escaneo con aplicativo móvil comparado a los otros dos métodos.

Conclusiones: La precisión de las medidas antropométricas obtenidas con el aplicativo móvil y el escáner facial son similares al método manual; sin embargo, se obtuvieron discrepancias mayores a 2 mm en las distancias CED-CEI y CD-CI con el método del aplicativo móvil. El escaneo facial con aplicativo móvil es el método más rápido.

PALABRAS CLAVE

ANTROPOMETRÍA, PRECISIÓN DE LOS DATOS, IMAGEN
TRIDIMENSIONAL, TELÉFONO INTELIGENTE (DeCS)

ABSTRACT

Objective: To compare the accuracy of facial anthropometric measurements between the manual method and facial scanning with a mobile application and with a facial scanner. **Methodology:** An observational, analytical and cross-sectional study was carried out. The participants were 20 students and professors of the CDD at UPCH. A trained and calibrated operator marked 9 anthropometric reference points on participants and measured 5 distances, using 3 methods: manual measurement with a digital vernier (IP54-Black, Qfun), 3D measurement using a facial scanner (RayFace, Ray) and an application (Qlone, EyeCue Vision Technologies LTD) on a smartphone (Iphone 14Pro, Apple). The environmental conditions and protocol of each method were standardized. The images from the smartphone were exported to the Meshlab program to carry out the measurements. The Shapiro Wilk, Anova and post hoc Tukey test were applied for the statistical analysis. **Results:** There was no statistical difference on the precision of the anthropometric measurements between the three ($p > 0.05$); but there was a difference of the measurement time ($p < 0.001$) between the mobile application scanner compared with the other two groups. **Conclusions:** The precision of the anthropometric measurements obtained with the three methods evaluated were similar. However, discrepancies greater than 2 mm were obtained in the CED-CEI and CD-CI distances when using the mobile application method. Also, the facial scanning with the mobile application was the fastest.

KEYWORDS

ANTHROPOMETRY, DATA ACCURACY, IMAGING, THREE-
DIMENSIONAL, SMARTPHONE (DeCS)

I. INTRODUCCIÓN

Las mediciones antropométricas sirven para realizar el análisis de la morfología facial de manera cuantitativa, usando puntos de referencia en el rostro de una persona, en un plano frontal y lateral, teniendo distancias verticales (Triquion-Glabela, Glabela-Subnasal, Subnasal-Mentón, entre otras) y horizontales (Canto Interno del ojo derecho-Canto Interno del ojo izquierdo, Comisura derecha-Comisura izquierda, entre otras). Estas medidas antropométricas son de gran uso en el campo médico para llevar a cabo cirugías estéticas, cirugías reconstructivas, en el área de pediatría, entre otras; también se utiliza para realizar evaluaciones clínicas, diagnósticos y planificación de reconstrucciones, así como para establecer diferencias entre patrones faciales según raza o etnias.^{1,2} Esto se extrapola también al ámbito odontológico, a especialidades como cirugía maxilofacial, rehabilitación oral, estética dental y ortodoncia, donde las representaciones tridimensionales (3D) de los tejidos blandos del rostro de un paciente para realizar dicho análisis facial o de alguna deformación craneofacial, cobran vital importancia en la etapa de diagnóstico y planificación de tratamientos; requiriéndose que las medidas que se realicen deban ser lo más precisas posibles.³⁻⁵

La literatura pone en evidencia diferentes métodos para realizar estas mediciones antropométricas faciales; comenzando con el método manual, el cual consiste en la medición directa de puntos de referencias antropométricas en el rostro del paciente con un calibrador o vernier. Si bien, este método proporciona datos exactos, resulta poco práctico debido a que no se puede reproducir una vez que el paciente no se encuentra en el ambiente clínico; esto repercute, a su vez, en

dificultades para lograr una buena comunicación entre el clínico y el paciente; y el clínico y el laboratorio.^{6,7} Otro de los métodos para las mediciones faciales es la utilización de imágenes en dos dimensiones (2D). Con esto, se fue incluyendo los registros fotográficos extraorales como parte del set de diagnóstico en la consulta clínica.^{6,8,9} Sin embargo, al tratarse de imágenes en dos dimensiones, queda limitado el registro de la información en dinámica del paciente. Incluso, en los protocolos de diseño digital de sonrisa, se indica la integración de videos para capturar los movimientos del paciente, esto debido a que la posición de los labios en dinámica influye en la sonrisa del individuo.⁸ Por último, con el avance de la tecnología, se fueron incorporando nuevas herramientas digitales en el ámbito odontológico como ayuda para el diagnóstico, que nos permiten tener reproducciones de los tejidos en 3D. Estos pueden reproducir los tejidos óseos, para lo cual se hace uso de las tomografías; y los tejidos blandos, mediante el uso de escáneres faciales.^{3-5,7,10-14}

Los beneficios que ofrece el escaneo facial son que se puede realizar en una sola cita, lo que agiliza y acorta las citas con el paciente; y no implica emisiones de rayos x, lo que no supone un riesgo. Permite también mejorar el flujo de trabajo y la comunicación paciente – operador – laboratorio. Una ventaja adicional de esta herramienta es que se puede relacionar los datos obtenidos mediante el escaneo facial con las imágenes de un escaneo intraoral y las obtenidas mediante tomografía. A su vez, con la ayuda de un programa de diseño asistido por computadora (CAD) se puede realizar, por ejemplo, un encerado digital, simulaciones de cirugías reconstructivas, etc. Con toda esta información integrada, se puede llegar a un

diagnóstico más certero, una planificación más completa y tener registros a lo largo del tiempo a manera de control.¹⁵ Por otro lado, las limitaciones de los escáneres faciales que se narran en algunos artículos científicos son los costos, las distorsiones y falta de precisión que puede haber en la información del escaneado, según las tecnologías que usa cada escáner facial. En la literatura se reportan dichas tecnologías para generar las reconstrucciones en 3D, las cuales son: láser, fotogrametría, estereofotogrametría y luz estructurada, cada uno con sus características y limitaciones.^{3,4,9,16} Por otra parte, algunos autores vienen estudiando el uso de dispositivos móviles para realizar el escaneado facial, como una alternativa más económica y accesible por los usuarios. Existen varios aplicativos móviles con el fin de obtener una imagen en 3D captando texturas y volumen del objeto escaneado.¹⁷⁻¹⁹

Puesto que estos nuevos métodos en 3D sirven de herramienta como apoyo para el diagnóstico, se debe tener en cuenta la precisión de estos para poder utilizarlos en un ámbito clínico con la seguridad de que los datos que se están recolectando sean los más cercanos a los valores reales. En la literatura se reportan algunos estudios sobre la precisión de escáneres faciales, como el realizado por Piedra-Cascón *et al.*³, en el cual evaluaron un escáner facial de luz estructurada dual y la fiabilidad inter examinador, obteniendo como resultados que el escáner utilizado mostró una alta precisión. Los autores concluyen que el escáner facial produce resultados clínicamente aceptables para su uso en planificación virtual de tratamientos.

Existen estudios previos que comparan el uso de diferentes métodos para realizar mediciones antropométricas, ya sea de la manera directa, utilizando fotografías extraorales en 2D o mediante el escaneado facial en 3D. Como el realizado por Cascos *et al.*⁹, quienes evaluaron la diferencia de la precisión de la fotografía 2D y un escáner facial 3D de luz estructurada dual para antropometría facial, comparándolos con la medición directa como control, en posición de máxima intercuspidadación y en sonrisa. Tuvieron como resultado que las mediciones obtenidas de la antropometría directa y del escaneo facial mostraron valores aceptables de precisión, mientras que las obtenidas mediante fotografía 2D mostraron discrepancias por encima de lo clínicamente aceptable. A su vez, Kook *et al.*¹⁶ realizaron un estudio comparativo entre diferentes métodos de análisis de tejido blando, entre los cuales se encontraban la antropometría directa y diversos sistemas de imágenes en 3D. Dicho estudio tuvo como resultado que todos los métodos evaluados mostraban una precisión y reproducibilidad aceptables. Por otro lado, algunos autores como Andrews *et al.*¹⁷, Pellitteri *et al.*¹⁹ y Rudy *et al.*²⁰, ya incluyen en sus estudios el uso del escaneo facial mediante un aplicativo móvil de un teléfono inteligente; sin embargo, no todos los comparan con una medición directa y algunos de los equipos utilizados están actualmente discontinuados, no accesibles en el mercado, y los teléfonos inteligentes empleados son de versiones anteriores, lanzados al mercado hace aproximadamente 8 años.

Al día de hoy, no existe mucha evidencia científica que compare la precisión de las mediciones antropométricas faciales mediante el uso de un escáner facial, un aplicativo móvil y la medición directa; especialmente, utilizando equipos y

dispositivos accesibles actualmente, siendo esto de vital importancia ya que ayudaría en la toma de decisiones del clínico al conocer qué herramientas podría utilizar y que realmente le sirvan de aporte en la fase de diagnóstico y planificación de tratamientos odontológicos, beneficiando así las atenciones de los pacientes.

Por lo anteriormente expuesto surge la pregunta de investigación: ¿Cuál es la precisión en mediciones antropométricas del escaneo facial mediante un aplicativo móvil y un escáner facial, en comparación con el método manual?

Esta investigación presenta justificación científica, ya que sumará cimientos en la literatura acerca de la precisión de herramientas digitales presentes en el campo odontológico peruano, y así, permitir el continuo desarrollo de la digitalización de la odontología con el uso del escáner facial. Así mismo, presenta una justificación clínica, ya que ayudará a la toma de decisiones del clínico respecto al uso de una ayuda diagnóstica que puede utilizar para poder obtener unas mediciones precisas y así poder llegar a un diagnóstico adecuado, una buena planificación del futuro tratamiento odontológico en múltiples áreas como la rehabilitación oral, estética dental, ortodoncia y cirugía maxilofacial; y así, tener una mejor predictibilidad de dichos tratamientos en el paciente.

El propósito del presente estudio será comparar la precisión en mediciones antropométricas faciales entre el método manual, escaneo facial con un aplicativo móvil y con un escáner facial.

II. OBJETIVOS

Objetivo General:

Comparar la precisión de mediciones antropométricas faciales entre el método manual, escaneo facial con un aplicativo móvil y con un escáner facial.

Objetivos específicos:

1. Comparar la precisión de mediciones antropométricas entre el método manual y escaneo facial con un aplicativo móvil.

2. Comparar la precisión de mediciones antropométricas entre el método manual y escaneo facial con un escáner facial.

3. Comparar la precisión de mediciones antropométricas entre el escaneo facial con un aplicativo móvil y con un escáner facial.

4. Determinar y comparar el tiempo de obtención de las mediciones antropométricas faciales entre el método manual, escaneo facial con un aplicativo móvil y con un escáner facial.

III. MARCO TEÓRICO

Precisión

Según el Descriptor de Ciencias de Salud (DECS) de la Organización Panamericana de Salud (OPS), la precisión de una medición dimensional se describe como la proximidad de un valor determinado de una dimensión física al valor real.²¹

La importancia de evaluar la precisión en este tipo de estudios radica en varios aspectos, como lo son:

- Consistencia y predictibilidad del tratamiento: tener datos precisos permite asegurar la coherencia y reproducibilidad de los mismos, lo que facilita la planificación y seguimiento de los tratamientos odontológicos. Hace factible proponer tratamientos personalizados a cada paciente, haciendo que mejore la satisfacción de este.²²⁻²⁵

- Integración de los datos: la precisión en este aspecto es fundamental para poder alinear correctamente las imágenes 3D obtenidas de diferentes métodos, lo que influye directamente en la estética y el resultado general del tratamiento que se esté planificando.^{12,23}

- Diagnóstico y planificación quirúrgica: se necesita de una alta precisión en las mediciones para realizar una planificación pre quirúrgica y poder evaluar resultados post quirúrgicos, y así detectar cambios en la anatomía.²⁶

- Mediciones específicas: para la evaluación de la dimensión vertical en oclusión o reposo en tratamientos rehabilitadores, en especial en casos clínicos de pacientes edéntulos totales.²⁷

- Reducción de errores clínicos: al reducir la variabilidad y errores aleatorios en las mediciones, se disminuye a su vez la posibilidad de obtener diagnósticos o planificaciones de tratamiento imprecisos.^{12,28}

Algunas características que debemos observar al evaluar la precisión en este tipo de estudios son:

- Tipo de escáner y tecnología: se detallará este punto más adelante.

- Movimientos del paciente y artefactos: Los movimientos involuntarios de la cabeza, ojos o boca pueden causar errores y reducir visiblemente la precisión. Es por esto que varios autores mencionan que los dispositivos de escaneo rápido, como los que requieren una sola toma, son una buena elección para minimizar los artefactos de movimiento.²⁹⁻³³

- Región facial y características anatómicas: La precisión puede variar según la región del rostro escaneada.³⁴⁻³⁷ Estudios anteriores han demostrado que las áreas centrales y planas del rostro generalmente muestran mayor precisión;^{31,36,38} mientras que las estructuras posteriores y profundas, como las orejas, región orbital, fosas nasales, a menudo presentan mayores discrepancias,^{31,33,35,36} y las regiones con superficies complejas o con curvaturas, como la boca, los labios y la nariz, pueden ser menos precisas.^{17,29,33,35,39,40}

- Marcación de puntos de referencia: La marcación previa de los puntos de referencia faciales mejora significativamente la precisión de las mediciones.⁴¹

- Condiciones de iluminación: La luz del entorno puede afectar la precisión del escaneo.^{33,42,43} Para algunos escáneres, la luz natural podría dar resultados más precisos.⁴³

- Posición de la cabeza: Mantener una posición fija de la cabeza es muy importante durante el escaneo facial para evitar distorsiones o artefactos en las imágenes 3D.^{9,29,37}

- Tamaño del objeto: El tamaño de la cabeza puede afectar negativamente la precisión; las cabezas de mayor tamaño tienden a ser menos precisas.³⁷

Métodos de antropometría facial

Están reportados en la literatura los diferentes métodos de antropometría facial, los cuales se detallan a continuación:

Método convencional: este se basa en mediciones directas del rostro, utilizando una herramienta manual como lo es el calibrador o vernier. Este método es considerado el “gold standard” para realizar mediciones antropométricas por su accesibilidad y fiabilidad a lo largo de los años; sin embargo, es un método que consume tiempo, se pueden tener dificultades en el almacenamiento de la data y depende de la habilidad del operador, ya que la compresión de tejidos blandos al ubicar el vernier puede interferir con la correcta medición. En la mayoría de los artículos científicos que investigan otros métodos con diferentes dispositivos, lo señalan como método con el que se realiza la comparación.^{9,12,40,41,44} En los estudios de antropometría facial presentes en la literatura, utilizan varios puntos de referencia faciales, entre ellos están: Triquion (Tr), Glabela (Gb), Subnasal (Sn), Pogonion de tejidos blandos (Pg), Canto Interno del ojo derecho (CID), Canto Interno del ojo izquierdo (CII), Canto Externo del ojo derecho (CED), Canto Externo del ojo izquierdo (CEI), Comisura derecha (CD), Comisura izquierda (CI), Nasion (N), Pronasal (Prn), Sublabial (Si), Gnation (Gn), Mentón (Me).⁴⁵

Método 2D: En este método se utilizan las fotografías extraorales del rostro del paciente, las cuales permiten evaluar los planos horizontales y verticales del rostro,²⁴ y con instrumentos matemáticos se puede obtener la data de análisis facial.⁴⁶ Este método es ampliamente usado en la mayoría de las áreas de estomatología para realizar diagnósticos de los casos clínicos, para la planificación de tratamiento y preservación de casos, para documentación legal, documentación forense; sirve asimismo como ayuda en la comunicación del clínico con el laboratorio, también para la educación y motivación del paciente y como marketing para el ambiente clínico en el que labora el profesional.⁴⁶ Este método es accesible y barato; sin embargo, sus limitantes son las distorsiones y angulaciones de las capturas, la imposibilidad de realizar mediciones volumétricas y, al evaluar solo dos planos del rostro, conlleva a imprecisiones en el alineamiento con formatos de archivos 3D, como los del encerado digital.³⁵ Es por esta razón que se introdujo el siguiente método.

Método 3D: Se basa en la obtención y fusión de datos 3D del paciente, en donde se asigna un número a puntos en el espacio, y en un plano tridimensional, se necesitarían entonces 3 números para especificar un punto. Se tienen los ejes x, y, z, siendo este último perpendicular a los dos primeros y el que representa la tercera dimensión. Con estas coordenadas se obtiene información de ubicación, tamaño y volumen de imágenes en 3D.⁴⁶

Existen básicamente 2 formas de obtener imágenes 3D de un sujeto, estas son con el uso de una tomografía y el escaneo. A continuación se detallarán características de cada una de ellas.

Tomografías

En el área de Estomatología, la tomografía que más se utiliza es la tomografía computarizada de haz cónico (TCHC), la cual nos permite observar tridimensionalmente estructuras óseas. Se utiliza en varias especialidades como la implantología, ortodoncia, odontopediatría, cirugía oral y maxilofacial, estética dental y rehabilitación oral. El análisis 3D que se puede realizar involucra la evaluación de la cantidad y calidad de hueso disponible, la relación espacial de las piezas dentarias con estructuras anatómicas adyacentes y la visualización de reparos anatómicos.⁴⁷

Esta evaluación radiológica de los tejidos duros implica la generación de radiación.²⁴ Y es mediante el uso de un haz de rayos X cónico y un sensor de rayos X que gira alrededor de la cabeza del paciente, realizando rotaciones de entre 180 y 360 grados, que captura múltiples imágenes de diferentes ángulos. Luego, mediante un software avanzado, se reconstruyen y se crean así las imágenes en 3D.⁴⁷

La imagen que produce la TCHC es un conjunto de pequeñas unidades cúbicas, llamado voxels.⁴⁸

Las ventajas de la TCHC, a diferencia de las tomografías computarizadas médicas, son que generan menor dosis de radiación, obtienen una imagen de manera más rápida y muestran el tejido óseo con mejor resolución. En la modernidad, los

nuevos dispositivos tienen un campo de visión, también conocido por sus siglas en inglés “Field of view” (FOV), más pequeño, lo que significa que solo se escanea el área necesaria, disminuyendo así aún más la radiación.⁴⁷

Un dato importante a considerar es que la data original debe estar en cierto formato para ser leída en el software y luego exportada como una imagen 3D, el formato “Digital Communication in Medicine” (DICOM), el cual fue desarrollado a fines del año 1980 con el objetivo de permitir que se conecten los sistemas utilizados para producir, almacenar, visualizar, procesar, enviar e imprimir imágenes médicas.⁴⁸

Escaneos faciales

La antropometría ha cambiado gracias a la tecnología, que al día de hoy permite tener mediciones más precisas, de manera más rápida, sin usar radiación como en el caso de las tomografías, facilitando la planificación del tratamiento en un entorno virtual 3D.^{22,38,40,44,49}

Los escáneres 3D son aparatos de medición óptica no invasiva que permiten obtener modelos faciales tridimensionales en un formato que da información de color, textura y morfología 3D del sujeto.^{5,32}

El método por el que se obtienen estos modelos faciales tridimensionales de un paciente consta de ciertos pasos: primero se escanea el rostro del sujeto; luego, el escáner crea una imagen geométrica que consiste en coordenadas de puntos x,y,z en el espacio. Estos puntos se unen formando triángulos o polígonos y, por último, a través de algoritmos de ciertos programas, los transforma para generar el modelo facial en 3D.^{5,32}

El escaneo facial sirve como una herramienta en el flujo de trabajo digital para diversas especialidades, como por ejemplo, para la implantología, abarcando su uso desde el diagnóstico, la planificación quirúrgica protésicamente guiada, la cirugía y la rehabilitación protésica final de pacientes edéntulos totales o parciales;²² asimismo en el área de rehabilitación oral, también en las etapas de diagnóstico y planificación de un tratamiento, contextualizando, por ejemplo, los dientes en el plano facial, siguiendo la proporción de los tercios del rostro para una rehabilitación protésica y permitiendo la identificación del plano de camper a través de marcas cutáneas.^{22,24} A su vez, tanto en el área de rehabilitación oral como en estética dental, el escaneo facial es usado para determinar el análisis estético dental, tomando de referencia características del rostro del paciente, como la posición ideal de los dientes, proporciones anatómicas del rostro y perfil del tejido blando. Por otro lado, en el área de ortodoncia o cirugía maxilofacial, para diagnósticos y simulaciones de tratamientos; y en el área de periodoncia, para determinar la correcta proporción de tejidos duros y blandos para casos de aumento de corona clínica.^{15,48} Los escáneres faciales son dispositivos dedicados exclusivamente a capturar imágenes 3D y exportarlos como archivos “Standard Tessellation Language” (STL) u “Object Files” (OBJ). El primero, STL, describe la geometría de la superficie de un objeto 3D, usando una serie de triángulos entrelazados entre sí para recrear la superficie del modelo sólido. Sin embargo, este tipo de archivo solo proporciona información de la superficie, mas no del color ni textura del objeto. El segundo, OBJ, representa reconstrucciones virtuales de la topografía de la superficie de objetos reales con coordenadas espaciales definidas como altura, ancho y profundidad (ejes x,y,z), brindando también información de color y textura.

Este formato fue desarrollado por Wavefront Technologies y es aceptado universalmente como un formato de definición geométrica.^{15,48}

En cuanto a portabilidad, existen 2 tipos de escáneres faciales: de escritorio y portátil. El primero es un dispositivo que se coloca en una posición fija frente al sujeto, suele ser más pesado y algunos modelos de mayores dimensiones, lo que limita su portabilidad. El segundo, por el contrario, es portátil debido a su diseño más compacto y liviano, y permite moverlo frente al sujeto para capturar las imágenes.^{25,33,44,48} Mai y Lee⁴⁴ realizaron un estudio para evaluar si existía diferencia de la precisión de modelos faciales 3D generados por ambos tipos de escáneres, resultando que los escáneres portátiles mostraron una precisión similar a la de los fijos. Aunque mencionan que igual se debe tener cautela al usarlos por el armado del aparato, el control de los movimientos faciales involuntarios del sujeto, identificación de regiones faciales o puntos de referencia y protocolos de escaneos, ya que pueden alterar esta precisión.

Una gran desventaja de los escáneres faciales comercializados con fines de uso en odontología es el elevado costo de estos, limitando su accesibilidad al gran número de profesionales. Con el avance de la tecnología, el escaneo facial puede ser más accesible al profesional usando teléfonos inteligentes, tabletas y cámaras, usando la fotogrametría para generar archivos 3D, usualmente en formatos OBJ.

Tecnologías de escaneos faciales

Existen diferentes tecnologías que emplean los escáneres faciales, las cuales se detallan a continuación.

Escáner láser:

El escáner facial proyecta un haz láser en el rostro del sujeto, el cual se dispersa y es recolectado por un sensor del dispositivo para calcular la distancia desde el origen del láser. Esto permite obtener las coordenadas x,y,z de la superficie facial para crear una imagen 3D. Estos escáneres suelen tener un mayor tiempo de adquisición de imágenes, lo que puede hacer que se generen artefactos por el movimiento del sujeto.⁵

Estereofotogrametría:

El escáner facial utiliza al menos 2 cámaras configuradas como un par estéreo; se captura la imagen del rostro mediante estas cámaras, produciendo modelos altamente realísticos, detallados y con colores y textura. Su precisión depende de parámetros como la resolución del escáner, integridad del píxel y de la luz del ambiente. Las ventajas de estos escáneres es que son fijos, rápidos y con una cobertura mayor a 180° que minimiza los artefactos por el movimiento involuntario del paciente.³⁵ Puede ser pasivo, donde la angulación única de las cámaras pueden determinar la distancia de los puntos en el rostro por triangulación y calibración; activo, donde se puede incorporar la técnica de luz estructurada para tener una mejor resolución de los escaneos; o incluso hay dispositivos híbridos, que tienen características de pasivo y activo.⁵

En la literatura lo consideran como el “gold standard” para mediciones de tejidos blandos faciales por su alta precisión reportada en varias investigaciones, su confiabilidad, cobertura de 360°, captura precisa de la forma, color y textura del rostro y rápida adquisición de imágenes, lo que se traduce en menores artefactos en

las imágenes por movimientos involuntarios del paciente, especialmente en las áreas orbitales y nasolabiales.^{5,29} Sin embargo, el sistema es complejo ya que son dispositivos grandes, involucra un mayor tiempo de calibración, no son portátiles, son muy costosos, y su uso lo enfocan más para estudios faciales especiales, como evaluar deformidades craneofaciales congénitas.^{5,37}

Luz estructurada:

Esta tecnología utiliza un patrón de luz estructurada (usualmente líneas verticales) que se proyecta en el rostro del sujeto y un sensor del dispositivo capta cómo se deforma este patrón. Esto permite calcular la distancia de cada punto en el patrón y recrear una imagen 3D. Debido a que la imagen se adquiere muy rápido (en milésimas de segundo), es menos probable observar artefactos por movimiento. Normalmente, no capturan toda la superficie completa y se necesitan vistas adicionales para completar la data. Se crearon versiones portátiles para poder mover el aparato y capturar diferentes ángulos. El tiempo de adquisición, por ende, se vuelve más largo, lo que lleva a la posibilidad de tener artefactos por movimiento.⁵ Un equipo de esta tecnología fue creado por una empresa coreana en el 2020 y en el 2022 presentó su segunda versión con mejoras en su sistema operativo, la ventaja de este dispositivo es que resuelve el problema antes mencionado de no tener cobertura total de la superficie, ya que el equipo tiene un diseño con un cuerpo y dos brazos que se extienden lateralmente, y cuenta con 6 cámaras dispuestas en los brazos, en el cuerpo y en la base del equipo, lo que permite que se amplíe la cobertura de la superficie facial del sujeto a ser escaneado.⁴⁵

RGB-D:

Son las iniciales en inglés de “red-green-blue-depth”. Esta tecnología surgió en el año 2010 y fue desarrollada para realizar escaneos faciales 3D precisos sin las desventajas de la complejidad de los métodos anteriores. Consta de un sensor que provee imágenes de color rojo-verde-azul y profundidad por píxel de los objetos escaneados. Este sensor de tiempo de vuelo, o conocido por las siglas del inglés “Time of flight” (TOF), del láser funciona proyectando una luz infrarroja en forma de puntos en el rostro de un sujeto. La distancia a la que se encuentran estos puntos se calcula midiendo cuánto tarda la luz en reflejar y regresar al sensor, lo que permite crear así una imagen 3D. Estos escáneres faciales son dispositivos compactos, portátiles y de bajo costo.^{5,11}

Fotogrametría:

Se realiza mediante la obtención de varias fotos de diferentes ángulos de un mismo objeto. El procesamiento se hace ubicando puntos fijos en común que hay entre las imágenes para estimar las dimensiones del objeto capturado, y luego, el algoritmo de un software especial procesa la imagen identificando y marcando los puntos de referencia. Después, se genera una nube de puntos y un sistema de coordenadas 3D (x,y,z), obteniendo así un modelo 3D. Al final, estas imágenes de fotogrametría 3D se convierten en un archivo OBJ para que puedan ser exportados y usados en programas para diseño 3D.⁴⁸

Este método de escaneo facial es el que utilizan los teléfonos inteligentes con los diferentes aplicativos móviles que han surgido a lo largo de los años. Algunos aplicativos móviles permiten el uso simultáneo de las varias cámaras con las que

cuentan la mayoría de los teléfonos inteligentes para capturar fotografías de un objeto para calcular la profundidad de este. Otra función es el reconocimiento facial para el desbloqueo del celular, que generalmente se realiza con la cámara frontal, que tiene forma de un iris, en los teléfonos inteligentes de la empresa Samsung; o con un escaneo facial completo, como el que usa la empresa Apple. Los productos de Apple usan una tecnología de escaneo de luz estructurada con su cámara frontal “TrueDepth” para el escaneo facial. Esta cámara “TrueDepth” utiliza un diodo que emite luz para proyectar una malla de más de 30 000 puntos infrarrojos, obteniendo así la información de profundidad de un objeto en cuestión de milésimas de segundo, es decir, permite recolectar datos al instante, incluso en lugares con poca luz gracias a un iluminador infrarrojo. Apple implementó el escáner de Detección y Rango de Luz o conocido por las siglas del inglés “Light Detection and Ranging” (LiDAR) en los iPhones Pro (desde la versión 12 en adelante) y al iPad Pro (desde la versión 2020 en adelante). El LiDAR opera enviando pulsos de luz y midiendo las reflexiones para determinar la distancia de los objetos, creando así mallas en 3D a partir de estos puntos. Mide la información de profundidad usando el principio TOF de forma directa, o indirectamente midiendo el cambio de fase. El TOF se usa comúnmente para aplicaciones de largo alcance, mientras que la tecnología de cambio de fase es usada normalmente para aplicaciones de corto alcance. Existen autores que mencionan que la tecnología usada por los teléfonos inteligentes no es tan precisa como la de los escáneres confeccionados industrialmente para el propósito de escaneos fáciles; sin embargo, puede proveer una precisión suficiente dependiendo de la aplicación que se le pretende dar.^{17,20,51,52}

Integración de data

Un aspecto importante a mencionar es que los archivos en 3D obtenidos de los diferentes métodos antes mencionados deben usar las mismas coordenadas (x,y,z) para poder superponerlos y crear así un paciente virtual.⁴⁶

A pesar de que los datos de una TCHC se presentan en un archivo DICOM; los del escaneo facial, en archivo .obj; y los del escaneo intraoral, en archivo .stl; la superimposición de los datos de las estructuras óseas faciales, tejidos blandos extraorales y/o dentición es factible para crear un paciente virtual en condiciones estáticas,¹⁵ mediante algoritmos de programas de georreferenciación.⁵⁰ Este paciente virtual en asociación con sistemas CAD-CAM permite al profesional generar una simulación de un plan de tratamiento, exploración de las expectativas del paciente, la implementación de una herramienta de comunicación efectiva, tanto con el paciente como con el laboratorio y hacen posible el diseño y manufactura de prótesis de una manera digital.⁵³ Por ende, tiene aplicación en áreas clínicas como implantología, estética dental, ortodoncia, cirugía maxilofacial, rehabilitación oral y periodoncia. Un ejemplo de esto fue manifestado en un estudio realizado por Lepidi *et al.*⁵⁴ en el que realizaron un montaje virtual en un caso de implantología. Se integró el escaneo facial del paciente, el escaneo intraoral y la TCHC. Esto permitió la fabricación de una prótesis definitiva implantosoportada, obteniendo así la resolución exitosa del caso clínico.

Antecedentes

Piedra-Cascón *et al.*³ compararon la precisión de las mediciones de distancias antropométricas en sujetos considerando 6 puntos de referencias faciales, entre el

método manual y método 3D con un escáner facial de luz estructurada (Face Camera Pro Bellus, Bellus 3D) conectada a una tableta (Huawei MediaPad M3, Huawei), y encontraron que el escáner facial mostró una precisión relativamente alta, por lo que los autores mencionan que el escaneo facial daba resultados clínicamente aceptables para la planificación virtual.

Así mismo, Pan *et al.*¹¹ compararon la precisión de un escáner facial de bajo costo con tecnología RGB-D (Arc 7, Bellus 3D) con un escáner de estereofotogrametría (3dMD) y comparando ambos con la medición manual como “gold standard”. En su estudio utilizaron una cabeza de maniquí en lugar de sujetos y tuvieron 9 medidas antropométricas de 14 puntos de referencia facial; encontraron que ambos escáneres tenían altos niveles de precisión, concluyendo que el escáner facial de bajo costo puede ser elegible como sustituto clínico de la estereofotogrametría.

En esa línea, Liu *et al.*¹² también compararon la precisión entre el escáner Face Camera Pro y 3dMD, comparando ambos con la medición directa, e igualmente utilizaron una cabeza de maniquí para realizar el estudio, en lugar de sujetos. Ellos midieron 8 distancias de 20 puntos de referencia faciales marcados en el maniquí, además de 5 ángulos. Mostraron la precisión en términos de CCI, teniendo que la de 3dMD fue de 1.00, y la de Bellus 3D fue de 0.99, concluyendo así que ambos escáneres mostraron alta precisión.

Ye *et al.*¹³, a su vez, compararon la precisión de dos sistemas de escaneo facial, con luz estructurada y estereofotogrametría, y los compararon con la medición directa. El estudio lo realizaron en sujetos, marcando puntos de referencias

antropométricos faciales, teniendo 21 medidas lineales a evaluar; y encontraron que ambos escáneres mostraron altos niveles de precisión.

Kook *et al.*¹⁶, por otro lado, compararon diferentes métodos de mediciones faciales de tejido blando. Marcaron 15 puntos de referencia faciales en 12 cabezas de maniquí de diferentes formas y tamaños, y utilizaron 5 métodos: manual, digitalizador, tomografía computarizada tridimensional (3D CT), escáner láser 3D y sistema DI3D de cámara estereoscópica 3D. Todos los métodos mostraron buena precisión y tenían un alto coeficiente de confiabilidad (>0.92) y bajo error técnico (<0.9 mm). Sin embargo, las medidas de los cantos internos con el sistema DI3D tuvieron diferencias estadísticamente significativas con el método directo, digitalizador y escáner láser 3D; en las demás medidas no hubo diferencias. Los autores llegaron a la conclusión de que todos los métodos para análisis 3D de los tejidos blandos utilizados mostraron una precisión favorable y podían ser utilizados en el ámbito clínico y de investigación.

Andrews *et al.*¹⁷ compararon la precisión del escaneo facial utilizando un iPhone 11 Pro conectado al escáner facial Bellus 3D con el sistema de estereofotogrametría 3dMD. El estudio lo realizaron en sujetos, marcando 18 puntos de referencia en los rostros, encontrando que las imágenes del sistema iPhone 11 Pro/Bellus 3D fueron clínicamente precisos, con un CCI excelente de 0.96. Los autores concluyen que este sistema del teléfono inteligente con el escáner facial funciona como alternativa a la estereofotogrametría; sin embargo, mencionan que se debería tener cuidado al aplicarlo en casos clínicos donde se necesite mayor nivel de detalles debido a la falta de resolución de las imágenes y al mayor tiempo de adquisición de las mismas.

Thurzo *et al.*¹⁸, por su parte, también utilizaron en su estudio comparativo el app de Bellus3D en un iPhone 12 Pro pero ellos lo compararon con la TCHC. Utilizaron sujetos en su estudio y tuvieron como resultados que la menor desviación total entre ambas imágenes ($\leq 10\%$) se observó en la punta de la nariz, puente de la nariz, surco nasolabial, filtrum, sulcus mentolabial, cigoma, región infraorbitaria y de la mejilla. Y la mayor desviación ($>30\%$) se observó en la región del ala de la nariz, fisura oral, región temporal y orbital, siendo esta última la más alta (65 y 68.3%). Los autores concluyeron que en algunas regiones del rostro hubo diferencias significativas con amplitudes mayores a 3 mm, por lo que se sugirió considerar una aplicabilidad clínica limitada, solo en casos donde no se necesite una precisión dentro de los 3 mm.

Rudy *et al.*²⁰ realizaron un estudio en el que compararon una aplicación de escaneo facial en un iPhone X (Scandy Pro) con la estereofotogrametría (Vectra H1) en sujetos, teniendo que el escaneo con el iPhone X mostró una precisión dentro de 0.5 mm comparado con un escáner validado.

Nogueira *et al.*¹⁰ evaluaron la precisión de medidas faciales en imágenes 3D obtenidas con un escáner fotogramétrico (Cloner 3D) en sujetos, comparándolas con la medición manual. Los autores midieron 7 distancias lineales y obtuvieron que las mediciones presentaron variaciones menores a 2 mm, excepto 3 medidas (Sn-Me, CED-CEI y CED-CD) que tuvieron rangos fuera de lo clínicamente aceptable, por lo que concluyeron que el escáner Cloner 3D mostró precisión clínicamente aceptable comparado con el vernier digital, con una variación de -0.8 ± 1.2 mm.

Tangthaweesuk *et al.*³¹, por su parte, realizaron un estudio donde compararon la precisión de sistemas de escaneos faciales: el escáner láser (Planmeca), luz dual estructurada (EinScan H2) y un aplicativo de un teléfono inteligente (Em3D). Este estudio lo realizaron en sujetos con deformidades esqueléticas que se encontraban en una etapa de preparación para someterse a una cirugía ortognática. Se escaneó a cada uno con los 3 sistemas y se tomó una tomografía computarizada de haz cónico. Se evaluaron regiones como mejillas, nariz, perioral y mentón por un software de inspección y metrología 3D (Geomagic control X). Tuvieron como resultados que el aplicativo móvil Em3D mostró mejor precisión que el escáner Einscan H2 ($p < 0.01$). Así mismo, las regiones nasal y perioral escaneados con el Planmeca tuvieron mayor precisión que otras áreas, mientras que la mejilla izquierda mostró menor precisión. Los autores llegaron a la conclusión de que el aplicativo Em3D y el escáner Planmeca Proface fueron precisos y confiables para su uso. Además, de que las desviaciones entre la precisión de diferentes métodos fueron < 1.0 mm, lo cual tiene una aceptabilidad clínica alta.

Pelliteri *et al.*¹⁹ en su estudio compararon la precisión de 3 sistemas de escaneo facial: la estereofotogrametría (Vectra), luz estructurada (Face Hunter) y una aplicación y una cámara (Bellus 3D). Utilizaron sujetos, a quienes se les comparó las medidas lineales con el método manual. Observaron diferencias significativas en todas las distancias menos en Prn-Pg, que no mostró diferencias en ninguno de los métodos evaluados. Hubo diferencias en las distancias Tr-Na y Zyg-Zyg entre método manual y escaneo con FaceHunter, y también en las mismas distancias entre el escaneo con Face Hunter y escaneo con Bellus 3D. Así mismo, se observaron diferencias significativas entre las distancias Na-Prn y Zyg-Zyg entre el escaneo

facial con Face Hunter y el escaneo facial con Vectra. También hubo diferencias en la distancia Na-Prn entre el escaneo facial con Bellus 3D y el escaneo facial con Vectra. Los autores llegaron a la conclusión de que los 3 sistemas mostraron ser efectivos, excepto el escaneo con Face Hunter, que dio diferencia estadísticamente significativa en las distancias Tr-Na (Trichion-Nasion) y Zyg-Zyg (bicigomático).

De igual manera, Raffone *et al.*²⁸ investigaron la precisión de un escáner facial portátil de bajo costo con 2 técnicas de escaneo diferentes. Para el estudio se emplearon sujetos, y se utilizó un iPad Pro de 3ª generación y la aplicación Bellus3D Dental Pro-App con dos técnicas de escaneo: la técnica libre (FT), en la que el sujeto giraba el rostro y el iPad se mantenía fijo, y la técnica deslizante (ST), en la que el investigador recorría el iPad frente al sujeto y este se mantenía en una sola posición. Se seleccionaron diecisiete puntos de referencia de tejidos blandos para las mediciones faciales lineales. Las distancias se midieron manualmente y digitalmente. La precisión mostró diferencias estadísticamente significativas para las distancias G-Pg, Ref-Zn-R y Prn-Zn-R con ST, que mostró mejor rendimiento ($P < 0.05$). Los autores sugieren la ST para un uso clínico fiable debido a su mejor precisión y a la reducción efectiva de artefactos de movimiento.

Karabiber *et al.*⁴⁰ realizaron un estudio comparativo de la precisión de unos aplicativos en dispositivos móviles (Qlone y Magiscan), con estereofotogrametría y comparándolos con el método manual. Se midieron 18 distancias faciales marcadas en sujetos. Tuvieron como resultados, en términos de CCI de 3dMD: 0.989; Qlone:0.980; Magiscan: 0.982. Encontraron que, según los números de parámetros, el ranking de valores no confiables ($>2\text{mm}$) fue Magiscan (46), Qlone (35) y 3dMD (4). Los autores concluyeron que el escaneado más preciso fue con

el escáner facial 3dMD; sin embargo, estadísticamente, Qlone y Magiscan estuvieron cercanas al escáner facial.

Nuytens *et al.*²⁵ evaluaron la precisión de 3 sistemas diferentes de escaneo facial: móvil, de escritorio y de un teléfono inteligente. En este estudio utilizaron una cabeza de maniquí y se midieron 16 distancias faciales manualmente con un calibrador digital como referencia antropométrica. Los sistemas empleados en este estudio fueron: un escáner de mano (Metismile), uno de escritorio (RAYFace v2.0) y una aplicación móvil (Heges) en un iPad Pro X. Tuvieron como resultados que el escáner de mano tuvo la mayor precisión de 0.22 ± 0.04 mm, mientras que el escáner de escritorio fue de 0.61 ± 0.18 mm y la aplicación móvil tuvo una precisión de 0.47 ± 0.12 mm. Los autores concluyeron que todos los sistemas mostraron valores clínicamente aceptables.

Kuhlman *et al.*⁵⁵ investigaron la precisión de escaneos faciales obtenidos por 4 aplicativos de tabletas (Bellus Dental Pro, Capture, Heges y Scandy Pro). Los autores utilizaron una cabeza de maniquí, al que se le marcaron 63 puntos de referencia previos a los escaneos. Las mediciones digitales se compararon con las mediciones manuales realizadas con un vernier digital. Obtuvieron como resultados valores generales de precisión, teniendo que el de Bellus Dental Pro fue 0.46 mm; el de Capture, 0.46 mm; el de Heges, 0.54 mm; y el de Scandy Pro, 0.64 mm. Pudieron concluir que la precisión fue inferior a 1.00 mm para los cuatro aplicativos de escaneos, por lo que sugirieron que dichos aplicativos fueron clínicamente aceptables para el diagnóstico y la planificación de tratamientos.

Antonacci *et al.*²⁴ indican que todas las tecnologías de los escáneres (estereofotogrametría, luz estructurada y escáner láser) alcanzaron resultados

comparables a la antropometría directa, con una diferencia <1mm; y que, independientemente del tipo de escáner utilizado, se debe prestar atención a la iluminación, a los puntos de referencia, micromovimientos y la posición del paciente. Además, mencionan que la estereofotogrametría y los dispositivos móviles pueden usarse para escaneos faciales, mas no para escaneos intraorales.

D'Ettorre *et al.*³⁰ compararon escaneos faciales obtenidos por estereofotogrametría 3dMDtrio, que usaron como referencia, con 2 aplicativos diferentes en un iPhone X con sistemas “TrueDepth” (Capture) y tecnología de luz estructurada (Bellus 3D Face). Se utilizaron sujetos a los que se les midió la distancia entre 18 puntos de referencia. Tuvieron como resultados que las áreas más precisas fueron las mejillas y la frente; las menos precisas fueron la boca, los labios y los ojos. Los autores concluyeron que las aplicaciones de los teléfonos inteligentes evaluadas muestran resultados prometedores, pero requieren mayor precisión del operador y cooperación del paciente debido al mayor tiempo de adquisición de las imágenes; sugirieron que sus mayores ventajas son el costo y la portabilidad.

En la literatura, son limitados los artículos que consideran como una variable más en el estudio al tiempo. Uno de ellos es el presentado por de Sá Gomes *et al.*⁴¹ quienes consideraron en sujetos 11 distancias lineales (con y sin marcas) entre el método manual y el escaneo facial móvil de luz estructurada (Artec Eva). Tuvieron como resultado que el método directo sin marcas consumió menos tiempo, en promedio 3 minutos y 5 segundos; y el escaneo sin marcas consumió más tiempo, en promedio 8 minutos y 19 segundos.

Así mismo, D'Ettore *et al.*³⁰ también consideró el tiempo de adquisición y elaboración de imágenes en su estudio, en el que compararon el escáner 3dMDtrio

con los aplicativos Bellus 3D y Capture. Los tiempos de adquisición de las aplicaciones de teléfonos inteligentes fueron considerablemente más largos (20.28 segundos en Bellus3D y 40.34 segundos en Capture) que los del sistema 3dMD (1.5 milisegundos), al igual que el tiempo de elaboración de las imágenes, teniendo que el grupo de 3dMD fue el tiempo más rápido con 20.58 segundos, mientras que en el grupo de Bellus3D y Capture fueron 55.47 segundos y 53.57 segundos, respectivamente. Por último, el tiempo total en promedio más bajo fue igualmente del grupo de 3dMD, con 20.59 segundos; seguido por el grupo de Bellus 3D, con 75.75 segundos; y por último, el que más tiempo tomó fue el grupo de Capture, con un promedio de 93.91 segundos.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Tipo y diseño del estudio

Observacional, analítico y transversal

4.2. Población

Personal asistencial del Centro Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (CDD-UPCH).

4.3. Muestra

Se realizó una prueba piloto utilizando el 10% del artículo base.⁹ Con los resultados de esta prueba se determinó el tamaño muestral mediante el programa Epidat 4.2, considerando los siguientes criterios: el tamaño de la población se consideró infinita, al ser desconocida; la desviación estándar esperada fue de 10.671, por corresponder al valor más alto entre todas las medidas registradas en la muestra piloto, proveniente este valor de la variable tiempo; el efecto del diseño fue de 1, al tratarse de un estudio transversal; se usó un nivel de confianza del 95%, con una precisión del 5%.

Luego de aplicar los estándares descritos, se tuvo un tamaño muestral final de 18 sujetos.

Para el presente estudio, se procedió a realizar un muestreo no probabilístico por conveniencia entre los sujetos que cumplieron los criterios de selección establecidos, y se incluyeron 20 participantes.

4.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis estará representada por una persona que realiza labora asistencial en el CDD-UPCH.

4.5. Criterios de selección

Criterios de inclusión

- Personas que consientan participar en la investigación y firmen el consentimiento informado.
- Mayores de 18 años
- Alumnos y docentes CDD-UPCH

Criterios de exclusión

- Personas con antecedentes de trauma o cirugía maxilofacial
- Personas con alguna deformidad o síndrome craneofacial
- Personas con barba

4.6. Variables (Anexo I)

Precisión

Se define conceptualmente como la cercanía de un valor determinado de una dimensión física con el valor real (DeCS). Se define operacionalmente como la medida de 5 distancias lineales en 9 puntos de referencia facial: Glabella, subnasal, pogonion de tejidos blandos, cantos internos y externos de los ojos, y comisuras labiales. Su indicador es la aproximación o diferencia de las mediciones faciales respecto a los valores reales. Es una variable cuantitativa continua, medida en una escala de razón y expresada en milímetros.

Métodos de antropometría facial

Se define conceptualmente como los procedimientos por los que se registran las medidas y proporciones de la cara de una persona. Se define operacionalmente como los procedimientos realizados con diferentes instrumentos para obtener el registro de medidas del rostro de una persona. Sus indicadores serán el vernier digital, el aplicativo en un teléfono inteligente y un escáner facial. Es una variable cualitativa politómica, su escala de medición es nominal y sus valores son medición manual, escaneo con aplicativo móvil y escáner facial.

Covariable

Tiempo

Se define conceptualmente como medida de duración de un evento. Se mide operacionalmente como el tiempo empleado para registrar la información en las tres dimensiones de la variable precisión. Su indicador será un cronómetro. Es una variable cuantitativa continua, su escala de medición es de razón y sus valores se miden en segundos.

4.7. Procedimientos y técnicas

Se solicitaron los permisos correspondientes para hacer uso de las instalaciones de la empresa Dentoshop y desarrollar ahí una parte del estudio; y del CDD-UPCH, sede central, para el uso de un aula en la que se desarrolló la otra parte del estudio.

Se desarrolló una capacitación a la investigadora en el uso del escáner facial de luz estructurada RayFace, modelo RFS200 (Ray Co., Ltd., Gyeonggi-do, Korea)

por un especialista de la empresa Dentoshop, en sus instalaciones. Esta consistió en la presentación del equipo, capacitación en el manejo del programa RayFace, así mismo, de la plataforma RayTeams que funciona como una nube para guardar los escaneos además de hacerlo en el RayFace. También se realizó la capacitación sobre cómo realizar los escaneos, y las herramientas de medición que se utilizaron posteriormente en el estudio.

Además de ello, se realizó una capacitación y calibración para la ubicación y medición de puntos antropométricos. La capacitación consistió en una unificación de criterios respecto a la ubicación de nueve puntos antropométricos entre la investigadora y un especialista en Rehabilitación Oral con más de 20 años de experiencia clínica, en el área de posgrado del CDD-UPCH. Estos puntos mencionados fueron los siguientes: Gb, Sn, Pg, CID, CII, CED, CEI, CD y CI.

Posteriormente, se realizó la calibración interobservador, la cual constó de la medición con un vernier digital (IP54-Black, Qfun, China) de cinco distancias lineales entre los nueve puntos antropométricos (Gb-Sn, Sn-Pg, CID-CII, CED-CEI, CD-CI) en 10 sujetos de estudio, realizada por el especialista con más de 20 años de experiencia y por la investigadora. Se empleó el Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI), obteniendo valores de 0.94 en la distancia Gb-Sn; 0.94, en Sn-Pg; 0.96, en CID-CII; 0.75, en CED-CEI; y 0.85, en CD-CI; indicando así una excelente fiabilidad de las mediciones obtenidas.

Luego, se realizó la calibración intraobservador, la cual constó de la medición con un vernier digital IP54-Black de las 5 cinco distancias lineales entre los nueve puntos antropométricos en 10 sujetos de estudio, realizada por la investigadora en

dos tiempos, con una diferencia de 3 semanas entre ambas mediciones. Se empleó igualmente el CCI, obteniendo valores de 0.92 en la distancia Gb-Sn; 0.89, en Sn-Pg; 0.97, en CID-CII; 0.96, en CED-CEI; y 0.91, en CD-CI; indicando así una excelente fiabilidad de las mediciones obtenidas.

Una vez seleccionados a los participantes, se les solicitó la firma del consentimiento informado. (Anexo II)

Previo al inicio de la ejecución del estudio principal se realizó una prueba piloto, en la que se evaluó la metodología del estudio, afinando detalles del manejo de los equipos utilizados, se evaluó la matriz a ser usada de la ficha de recolección de datos, se identificó el tiempo en la aplicación de cada instrumento por sujeto de estudio, para prever disponibilidad de los ambientes y de los participantes, y por último, para determinar el tamaño de muestra para el estudio principal.

El estudio se llevó a cabo en 2 ambientes, en fechas diferentes:

- En un aula del cuarto piso del CDD-UPCH, sede central se realizó la medición manual y el escaneo facial con el aplicativo móvil, en un total de 5 fechas.

- En las instalaciones de la empresa DENTOSHOP en San Isidro, se realizó el escaneo facial con el escáner facial, en un total de 2 fechas.

- En el caso que el participante no pudo acudir a ambas fechas y no contó con los datos de los 3 tipos de mediciones, se consideró como una muestra perdida.

Se estandarizó condiciones del ambiente en cada fecha con los sujetos de estudio, teniendo así que todas las mediciones realizadas en el CDD-UPCH fueron en un aula con las cortinas cerradas y contaba con la iluminación de las luces

fluorescentes del techo; y en las mediciones realizadas en las instalaciones de la empresa DENTOSHOP, fueron en una misma aula sin ventanas y con la iluminación de las luces fluorescentes del techo. En ambos ambientes, los escaneos se realizaron aproximadamente debajo de uno de focos.

Previo al inicio de la ejecución del estudio, la investigadora midió el diámetro de stickers en forma de círculo (Pegafan, Lima, Perú), el cual fue de 5 mm, y pintó un punto con un lapicero en el centro de cada sticker a ser usado en los siguientes pasos.

Procedimiento de medición con el método manual:

En un aula del cuarto piso del CDD-UPCH, los participantes se ubicaron en una silla con respaldo, manteniendo una postura erguida y respaldada, con los pies apoyados en el suelo. Se posicionó la cabeza de los participantes de tal manera que el plano de Camper se encuentre paralelo al piso, se pidió que tengan los ojos abiertos mirando al horizonte y en posición de máxima intercuspidad, con los labios sellados sin forzarlos. Se instruyó a los participantes a mantener dicha posición de la cabeza durante la recopilación de los datos. Además, se solicitó tener todo el rostro descubierto, sin uso de lentes, joyas, sombreros, y de tener el cabello largo, se indicó que lo sujeten en un moño. Se corroboró permanentemente la postura de los participantes durante el estudio y se corrigió al observar alguna modificación.

Luego, se identificó los nueve puntos de referencia antropométricas y se colocó un sticker en solo 3 de estos puntos de referencia (Gb, Sn y Pg) en cada uno de los

participantes, ya que en esos puntos los stickers no generaban incomodidad al participante.

A continuación, se realizó la medición manual de las 5 distancias antropométricas (Gb-Sn, Sn-Pg, CID-CII, CED-CEI, CD-CI). Dichas medidas se realizaron con el Calibrador Vernier Digital IP54-Black, colocando cada punta del calibrador en el centro de los stickers ubicados en los puntos Gb, Sn y Pg, y por encima de los puntos CID, CII, CED, CEI, CD y CI.

La investigadora programó un cronómetro profesional Q&Q 150 Lap Split Memory (Q&Q, Tokio, Japón) previo al inicio de las mediciones de las 5 distancias antropométricas, e inició éstas una vez se haya pulsado la opción “start” en el cronómetro. La investigadora fue midiendo y anotando cada medida en una ficha de recolección de datos en Excel. Una vez finalizada la última medición, se pulsó la opción “stop” en el cronómetro y se anotó el tiempo de medición en la misma ficha.

Procedimiento de medición con el método de aplicativo móvil:

Se inició inmediatamente después de completar el procedimiento de medición con el método manual, en la misma locación y el sujeto de estudio manteniendo la misma posición corporal.

Se realizó el escaneo facial con el aplicativo móvil de libre acceso Qlone (versión 6.5.6, premium), con resolución Full High Definition (FHD), se compró 100 créditos cloud para poder exportar los escaneos, descargado en un iPhone 14Pro (Apple, California, USA). La investigadora abrió la aplicación, seleccionó la opción

“+”, luego la opción “Cara humana” y la opción “Manual” para iniciar el escaneado pulsando el ícono de grabación.

La investigadora programó el cronómetro y pulsó la opción “start” para iniciar el escaneado.

Una vez seleccionada la opción de inicio de escaneado, apareció una representación de un rostro en 3D en la esquina inferior izquierda de la pantalla, la investigadora comenzó a rotar el celular frente al rostro del participante comenzando desde la frente, moviendo hacia el lado lateral izquierdo del rostro, luego por la zona del mentón y terminando por el lado lateral derecho del rostro, cerciorándose que en la representación del rostro en 3D se vaya pintando de verde completamente el rostro; una vez obtenido esto, se finalizó el escaneado, se detuvo el conteo del tiempo en el cronómetro pulsando la opción “stop” de este último y se anotó los datos del tiempo en la ficha de recolección de datos de Excel.

Posteriormente, se presionó la opción de exportar en la pantalla de la aplicación móvil, la cual es una imagen de un cuadrado con una flecha hacia arriba, se presionó la opción “obj” para exportarlo en dicho formato y pulsó luego la opción “Drive”, se colocó el nombre del sujeto de estudio y se exportó a la cuenta del correo institucional de la investigadora.

Se realizó 2 escaneos por cada paciente y se eligió el mejor para exportar una sola vez.

Se exportaron los modelos virtuales en 3D del aplicativo móvil Qlone en formato .obj al drive institucional de la investigadora y posteriormente fue descargado en una laptop IdeaPad 5 (Lenovo Group, Ltd., Pekín, China) con procesador AMD Ryzen 7, memoria de 16 GB y pantalla de 16". En esta

computadora se usó el programa MeshLab versión 2022.02 para realizar las mediciones de las distancias.

Una vez en el programa, se importó el escaneo de cada participante, se centró y amplió la imagen en la pantalla de manera que se pudo observar todos los puntos de referencia en el rostro de los participantes. Se seleccionó la opción “Measuring Tool” y se midió las distancias de Gb-Sn y Sn-Pg, seleccionando el centro de los stickers como punto de inicio y fin de cada distancia. Luego, se midió las distancias de CII-CID, CEI-CED y CI-CD, seleccionando directamente en la imagen del escaneado los puntos de referencias antropométricos como inicio y fin de cada distancia. La investigadora registró el tiempo empleado para estas mediciones con la ayuda del cronómetro profesional Q&Q 150 Lap Split Memory y anotó los datos en una ficha de registro en Excel.

Procedimiento de medición con el método de escáner facial:

Se realizó el escaneo facial con el escáner facial de luz estructurada RayFace, modelo RFS200, en las instalaciones de la empresa Dentoshop. El escáner se calibró previo a su uso, debido a que se debe calibrar cada vez que se cambia el lugar de posicionamiento del equipo. Esta calibración consistió en conectar el kit de calibración y ensamblar el panel de calibración por la parte delantera de la base del escáner facial, se seleccionó la opción de “Calibración” en el software del escáner y se esperó unos minutos a que el proceso finalice.

En un aula de conferencias de la empresa Dentoshop, se ubicó a los participantes en una silla con respaldar, manteniendo una postura erguida y respaldada. Se

posicionó la cabeza de los participantes de tal manera que el plano de Camper se encuentre paralelo al piso, se pidió que tengan los ojos abiertos mirando al horizonte y en posición de máxima intercuspidad, con los labios sellados sin forzarlos. Se instruyó a los participantes a mantener dicha posición de la cabeza durante la recopilación de los datos. Además, se solicitó tener todo el rostro descubierto, sin uso de lentes, joyas, sombreros, y de tener el cabello largo, se indicó que lo sujeten en un moño. Se corroboró permanentemente la postura de los participantes durante el estudio y se corrigió al observar alguna modificación.

Después, se identificó los nueve puntos de referencia antropométricas y se colocó un sticker en solo 3 de estos puntos de referencia (Gb, Sn y Pg) en cada uno de los participantes.

El escáner se posicionó en una mesa, con una superficie plana. Se colocó la silla donde estaba posicionado el participante frente al escáner, y se ajustó la altura de ésta de tal manera que el rostro del participante estuviera justo frente al espejo del escáner. El dispositivo se ubicó a 10 cm del borde de la mesa. Se recalcó al participante de mantener el rostro completamente descubierto y de posar sus manos en la mesa al lado del escáner o en su regazo.

Se utilizó una laptop ASUS TUF Gaming F15 (ASUS, Taipéi, Taiwán) con procesador 12th Gen-Intel Core i7 , memoria de 954 GB, tarjeta gráfica de 4GB y RAM de 32 GB, para la toma de los escaneos. Se abrió la aplicación del RayFace en la laptop, se seleccionó la imagen de la cámara en la barra de herramientas del lado izquierdo de la ventana para iniciar con el proceso, se registró los datos del participante como ficha de registro; el participante observó su reflejo en el espejo del escáner, y la investigadora se aseguró de que el rostro esté correctamente

centrado en cada una de las 6 ventanas que se muestran en la ventana de la aplicación en la laptop y coincidiendo con las guías de la posición de los labios que se muestra en la pantalla. Luego la investigadora seleccionó la opción de “Capture”. Con la toma realizada, se seleccionó la opción de reconstrucción en 3D. Cada escaneo se guardó en la nube de RayTeam, software del programa RayFace. Se registró el tiempo en que la investigadora inició y culminó el escaneado con la ayuda de un cronómetro profesional Q&Q 150 Lap Split Memory y se anotaron los datos en una ficha de registro en Excel.

Para los modelos virtuales en 3D del escáner facial, se hizo las mediciones en el mismo programa del RayFace en una fecha posterior a las tomas de escaneados. Para esto, se accedió mediante la nube a cada escaneo, una vez en el registro de un paciente, se seleccionó la opción “siguiente” representado por una imagen de una flecha hacia a la derecha, en la pantalla se mostraron opciones para integrar más registros, debido a que en el presente estudio solo se manejó con escaneos faciales en posición de máxima intercuspidad, se volvió a seleccionar la opción “siguiente”, y se mostró la ventana de mediciones, representado por una imagen de un rostro y una escuadra en la parte central superior de la pantalla. En esta ventana, la investigadora se dirigió a la opción “Tools” y seleccionó la opción de “Medición Vertical” para medir las distancias de Gb-Sn y Sn-Pg, seleccionando el centro de los stickers como punto de inicio y fin de cada distancia. Luego, se seleccionó la opción “Medición Horizontal” para medir las distancias de CII-CID, CEI-CED y CI-CD, seleccionando directamente en la imagen del escaneado los puntos de referencias antropométricos como inicio y fin de cada distancia. La investigadora

registró el tiempo empleado para estas mediciones con la ayuda del cronómetro profesional Q&Q 150 Lap Split Memory y anotó los datos en una ficha de registro en Excel.

4.8. Consideraciones éticas:

Antes de iniciar el estudio, se obtuvo la aprobación del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (CIE-UPCH), con constancia CIEI-652-48-24. Además, los datos de los participantes fueron codificados para mantener su información de manera confidencial. Asimismo, los participantes firmaron un consentimiento informado y se aplicó el principio ético de beneficencia.

4.9. Plan de análisis:

Los datos recolectados se ingresaron a hojas de cálculo de Microsoft 365 Excel 2025 versión 16.97 (25051114). Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de las variables. Luego, se aplicó la prueba de ANOVA de un factor para evaluar la comparación entre los tres grupos; y por último, una prueba Post Hoc de Tukey para evaluar la comparación pareada entre los grupos.

Se empleó el software Jamovi 2.6.26.0 para el análisis estadístico de los datos.

V. RESULTADOS

Se incluyeron en el estudio a 20 participantes (13 mujeres y 7 hombres) de edades entre los 19-38 años (promedio 26.6 años).

En la tabla 1 se presenta la precisión en milímetros (mm) de mediciones antropométricas y tiempo de medición en segundos (s) entre el método manual, escaneo con aplicativo móvil y escaneo con escáner facial. No se observó diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$) en las distancias antropométricas; sin embargo, se pudo observar que las distancias CED-CEI y CD-CI son las que presentan más diferencias en los promedios entre los métodos de antropometría facial; así mismo, se observó que los valores obtenidos en todas las distancias antropométricas en el grupo de método manual presentó valores muy similares a los del escaneo con escáner facial, mientras que los valores obtenidos con el método de escaneo con aplicativo móvil fueron siempre más elevados que los otros dos métodos. Adicionalmente, en la tabla se evidenció una diferencia estadísticamente significativa ($p<0.001$) entre la variable tiempo y método de antropometría facial, en donde se observó diferencias estadísticamente significativas entre el método manual y escaneo con aplicativo móvil, y entre el escaneo con aplicativo móvil y el escaneo con escáner facial; por el contrario, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre el método manual y el escaneo con escáner facial.

En la tabla 2 se presenta la comparación pareada de la precisión (mm) de mediciones antropométricas según el método manual, escaneo facial con aplicativo móvil y con escáner facial. No se observó diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$) en las cinco distancias antropométricas evaluadas. Así

mismo, se evidencia que en dos de las cinco distancias evaluadas (CED-CEI y CD-CI) se tuvo diferencias de medias mayores a 2 mm entre el método manual y escaneo con aplicativo móvil, y entre el escaneo con aplicativo móvil y escaneo con escáner facial. Adicional a esto, podemos observar que las diferencias de media entre el método manual y el escaneo con escáner facial no fueron mayores a 1 mm.

En la tabla 3 se presenta la comparación pareada del tiempo de medición entre los métodos de antropometría facial, en donde se evidenció una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.001$) de la variable entre el método manual y el escaneo con aplicativo móvil; y, entre el método de escaneo con aplicativo móvil y escaneo con escáner facial. Con esto observamos que el método de escaneo con aplicativo móvil tiene un tiempo de medición de las distancias evaluadas menor a los otros dos métodos.

Adicionalmente al tiempo de medición para los métodos con escaneos faciales, se registró el tiempo de escaneado con el aplicativo móvil, el cual fue 25.70 segundos en promedio. Para el método de escaneo facial con el escáner facial se registraron 2 tiempos: el de obtención de la imagen, el cual fue de 5 segundos en promedio, y el tiempo de conversión a modelo 3D, el cual fue de 31.90 segundos en promedio, teniendo como tiempo total de escaneado para el método con el escáner facial, 37 segundos en promedio.

Tabla 1. Precisión (mm) entre las distancias antropométricas y tiempo de medición según el método manual, escaneo con aplicativo móvil y escáner facial

	Medición manual		Medición con aplicativo móvil		Medición con RAYFACE		p*
	\bar{X} (DE)	Mín - Max	\bar{X} (DE)	Mín	\bar{X} (DE)	Mín	
Distancias antropométricas							
Gb-Sn	71.44 (4.45)	64.30 -81.64	72.69 (6.16)	61.85 - 84.39	71.72 (3.87)	64.90 - 78.70	0.704
Sn-Pg	50.44 (4.43)	43.21 - 58.94	51.09 (5.23)	40.89 - 59.81	50.58 (5.50)	40.20 - 63.40	0.913
CID-CII	34.50 (2.27)	31.05 -38.20	35.12 (3.15)	28.21 - 39.38	34.49 (2.37)	30.80 - 38.30	0.688
CED-CEI	93.39 (4.63)	82.18 - 101.83	97.28 (6.62)	82.07 - 106.92	94.37 (5.85)	77.40 - 101.40	0.093
CD-CI	51.40 (3.66)	40.79 - 57.58	54.01 (5.48)	41.02 - 65.87	51.67 (4.05)	39.50 -58.50	0.136
Tiempo	68.30 (9.03)a	56.00 - 87.00	46.90 (7.16)ab	36.00 - 62.00	73.20 (12.40)b	59.00 -113.00	<0.001

\bar{X} , media; DE, desviación estándar; p, significancia (p<0.05)

*ANOVA de un factor; post hoc de Prueba de Tukey, letras iguales presentan diferencia

Tabla 2: Comparación pareada de la precisión (mm) entre las distancias antropométricas según el método manual, escaneo con aplicativo móvil y escáner facial

Distancias antropométricas	Método Manual – Escaneo con Aplicativo móvil		Método Manual – Escaneo con Escáner Facial		Escaneo con Aplicativo móvil – Escaneo con Escáner Facial	
	$\Delta \bar{X}$	p	$\Delta \bar{X}$	p	$\Delta \bar{X}$	p
Gb-Sn	-1.25	0.705	-0.277	0.983	0.969	0.809
Sn-Pg	-0.652	0.913	-0.140	0.996	0.512	0.945
CID-CII	-0.617	0.739	0.013	1.000	0.629	0.730
CED-CEI	-3.89	0.091	-0.980	0.853	2.915	0.254
CD-CI	-2.61	0.163	-0.272	0.980	2.341	0.230

$\Delta \bar{X}$, diferencia de medias; p, significancia ($p < 0.05$) mediante prueba de ANOVA, Post Hoc prueba de Tukey

Tabla 3. Comparación pareada del tiempo de medición entre los métodos de antropometría facial

	Método Manual – Escaneo con Aplicativo móvil		Método Manual – Escaneo con Escáner Facial		Escaneo con Aplicativo móvil – Escaneo con Escáner Facial	
	$\Delta \bar{X}$	p	$\Delta \bar{X}$	p	$\Delta \bar{X}$	p
Tiempo de medición	21.40	<0.001	-4.90	0.260	-26.30	<0.001

$\Delta \bar{X}$, diferencia de medias; p, significancia ($p < 0.05$) mediante prueba de ANOVA, Post Hoc prueba de Tukey

VI. DISCUSIONES

El presente estudio tuvo como propósito comparar la precisión en mediciones antropométricas faciales entre el método manual, escaneo facial con un aplicativo móvil y escáner facial, así como determinar y comparar el tiempo requerido para dichas mediciones.

La presente investigación demostró que existe una similitud en la precisión de las mediciones antropométricas faciales entre los métodos manual, escaneo facial con aplicativo móvil y con escáner facial en las cinco distancias evaluadas.

Estos resultados se pueden comparar con los encontrados en otras investigaciones en las que evalúan la precisión de las mediciones obtenidas con el método directo y con diferentes tecnologías de escaneo facial. En estos estudios se evidencia, en general, una alta precisión de las mediciones antropométricas de los diferentes dispositivos frente a los valores reales obtenidos directamente del rostro del sujeto u objeto evaluado, traduciéndose así en que estos dispositivos pueden ser utilizados en el ámbito clínico y de investigación. Algunos de los nuevos dispositivos de bajo costo o teléfonos inteligentes evaluados hasta la fecha pueden funcionar como alternativas más accesibles económicamente a los profesionales frente a dispositivos más caros y con mayor respaldo de su precisión en la literatura; sin embargo, existen algunas consideraciones importantes a tener en cuenta antes de generalizar su uso a todos los casos clínicos, en donde se pueda requerir una atención más minuciosa en detalles. Algunas de estas consideraciones son el tiempo en el que se moviliza el teléfono inteligente frente al rostro del paciente, ya que

cuando se prolonga el tiempo de escaneo, es más probable que se generen movimientos involuntarios del rostro del paciente, generando artefactos en las imágenes. Otra consideración es la habilidad del operador, ya que, como cualquier dispositivo o tecnología nueva adquirida, el profesional debe pasar por un periodo de aprendizaje, siendo más probable que las primeras veces no se consigan escaneados aceptables y se necesite más práctica.^{3,11-13,16,17,20,25,55}

En un estudio desarrollado por Pelliteri *et al.*¹⁹ compararon la precisión de 3 sistemas de escaneo facial: la estereofotogrametría (Vectra), luz estructurada (Face Hunter) y RGB-D (Bellus 3D). Los autores llegaron a la conclusión que los 3 sistemas mostraron ser efectivos, excepto el escaneo con Face Hunter, que tuvo una diferencia estadísticamente significativa en las distancias Tr-Na y Zyg-Zyg (bicigomático). Este resultado puede haber estado influenciado por el método de adquisición de las imágenes con el escáner FaceHunter, en el cual se necesitan varias tomas de posiciones diferentes del rostro del paciente, quien tiene que mover lateralmente la cabeza para dichas tomas, inclinar su cabeza hacia arriba y realizar movimientos funcionales o de sonrisa. Esto difiere del método de adquisición de imágenes del presente estudio, ya que el paciente en todo momento se encontraba con una única posición de la cabeza, en máxima intercuspidad; fue la investigadora quien se desplazaba frente al paciente con el teléfono inteligente para el método de escaneo facial con aplicativo móvil y en el método con el escáner facial, el paciente de igual manera mantuvo una única posición de la cabeza mientras se obtenía la imagen en unos segundos con el RayFace.

Debemos resaltar un punto importante, el cual es que en algunas de estas investigaciones previamente citadas, ya integran el uso de un dispositivo móvil

como se hizo en el presente estudio; sin embargo, las tecnologías de escaneo facial fueron diferentes, el modelo de los teléfonos inteligentes utilizados ya tienen varios años en el mercado, habiendo salido nuevas generaciones de celulares con mejores herramientas y tecnologías; además, el escáner mencionado en dichas investigaciones (Bellus3D) y los aplicativos móviles también mencionados actualmente ya no se encuentran vigentes en el mercado, por lo que los alcances de dichos estudios se ven limitadas al no poder tener la posibilidad de utilizar dichos aplicativos o dispositivos en el ámbito clínico.

Una investigación más reciente fue la realizada por Karabiber *et al.*⁴⁰, en la que compararon la precisión de escaneos con unos aplicativos móviles (Qlone y Magiscan), estereofotogrametría y el método manual. Los autores concluyeron que el escaneado más preciso fue con la estereofotogrametría; sin embargo, estadísticamente, los aplicativos móviles estuvieron cercanos al escáner facial. Estos resultados coinciden con los del presente estudio, ya que también observamos valores de precisión estadísticamente similares de las medidas entre un escáner facial y el aplicativo móvil.

Por otro lado, un estudio realizado por Raffone *et al.*²⁸ investigaron la precisión de un escáner facial portátil de bajo costo con 2 técnicas de escaneo diferentes, una técnica libre (FT), en la que el sujeto giraba el rostro y el iPad se mantenía fijo; y la técnica deslizante (ST), en la que el investigador recorría el iPad frente al sujeto y este se mantenía en una sola posición. Los autores sugieren la ST para un uso clínico fiable debido a su mejor precisión y a la reducción efectiva de artefactos de movimiento, lo que corrobora el método aplicado en el presente estudio como parte de la obtención de imágenes en el grupo de escaneo facial con aplicativo móvil.

Otro de los resultados del presente estudio fue que existió una diferencia entre el tiempo de medición para los tres métodos, teniendo que el método con escáner facial tomó mayor tiempo, mientras que el método de escaneo facial con aplicativo móvil fue el más rápido. Esto puede haber estado influenciado por los programas de cada método para realizar las mediciones, ya que, en el caso del grupo del escáner facial, habían opciones de “medición vertical” y “medición horizontal”. Una vez seleccionado uno de ellos, según sea el caso, se seleccionaban los puntos de referencia antropométrica en las imágenes 3D para obtener la medida de las distancias. A continuación, aparecían recuadros con la medida en milímetros, lo que hacía que tomara un poco más de tiempo para escribir las medidas en la ficha de recolección de datos, y luego se tenía que eliminar el recuadro para volver a seleccionar la opción de mediciones y continuar con la siguiente distancia, ya que los recuadros muchas veces tapaban los siguientes puntos de referencia a ser usados y no se podían mover para que no estorbara la visión de los puntos. Por otro lado, en el programa Meshlab utilizado para la medición del grupo de escaneo facial con aplicativo móvil, los recuadros que aparecían no estorbaban en todos los casos, y de hacerlo, se podía eliminar inmediatamente el recuadro y continuar con las mediciones, ya que en la parte inferior derecha de la pantalla del programa se registraban automáticamente las mediciones que se estuvieran realizando, lo que permitía el completar primero la selección de todas las distancias y al final anotar las 5 distancias juntas en la ficha de recolección de datos.

En la literatura, son limitados los artículos que consideran al tiempo como una variable más en el estudio. Uno de ellos es el presentado por de Sá Gomes *et al.*⁴¹, en el que observaron que el método directo sin marcas consumió menos tiempo, en

promedio 3 minutos y 5 segundos; y el escaneo facial sin marcas consumió más tiempo, en promedio 8 minutos y 19 segundos. Esto se ve contrastado en el presente estudio, ya que el método más rápido fue el escaneo con aplicativo móvil, con un promedio de 46.9 segundos. Sin embargo, hay que considerar las diferencias en la metodología de ambos estudios; en el de Sá Gomes consideraron el tiempo desde la ubicación de las marcas de referencias antropométricas en los sujetos, la obtención de la imagen, la conversión a una imagen en 3D y el tiempo de medición de las distancias virtual o manualmente; mientras que en el presente estudio solo se consideró para la comparación entre los 3 métodos, el tiempo de medición de las distancias virtual o manualmente. Sin embargo, se registró el tiempo adicional que tomó el escaneado en los métodos de escaneo facial con aplicativo móvil y escáner facial, los cuales fueron de 25.70 segundos y 37 segundos, respectivamente. Se tuvo así un total de tiempo de escaneo y medición de: 1 minuto y 13 segundos en promedio en el grupo de aplicativo móvil; 1 minuto y 50 segundos en promedio en el grupo de escáner facial; y, 1 minuto y 8 segundos en promedio en el método manual. Adicionalmente, habría que considerar que el tiempo en el grupo del escaneo con escáner facial pudo haber estado influenciado por la capacidad de memoria de la laptop en la que se conectó el escáner facial y se realizaron los escaneos, o por el acceso a internet en el momento de la conversión de las imágenes a un modelo en 3D.

Así mismo, D'Ettoire *et al.*³⁰ también consideró el tiempo de adquisición y elaboración de imágenes en su estudio, resultando que los tiempos en las aplicaciones de los teléfonos inteligentes fueron considerablemente más largos que los del sistema de estereofotogrametría. Estos resultados pueden deberse a que el

escáner 3dMD, al ser un equipo fijo y tener la tecnología de estereofotogrametría, genera las imágenes mucho más rápido, mientras que en los aplicativos de escaneos faciales se debe movilizar el investigador frente al paciente para capturar todas las áreas del rostro. Este tiempo adicional que conlleva la adquisición de las imágenes puede llevar a la generación de artefactos en las imágenes debido al movimiento inherente e involuntario del ser humano.

En este estudio se utilizaron stickers de forma circular de 5 mm de diámetro con una marca en el centro de cada uno de ellos, en tres de los nueve puntos de referencia antropométricos faciales. Se decidió colocarlos solo en 3 puntos (Gb, Sn y Pg) debido a que, al realizar la prueba piloto, se evidenció que los stickers colocados en la zona orbital y labial no quedaban estables por el movimiento de pestañeo o pequeños movimientos que los sujetos pudieran realizar al pasar saliva, además de que lo sentían un poco incómodo al estar cerca de los ojos. La metodología con los stickers en los puntos de referencia antropométricos faciales fue reportada en otros estudios,^{3,28} donde mencionaban la misma razón de la falta de estabilidad de todos los stickers colocados en los estudios con sujetos de estudio.

Por otro lado, en la literatura existen estudios donde, como parte de su metodología, se realizan marcas con lapiceros o marcadores indelebles en los puntos de referencia antropométricos.^{7,9,11,27} Esta metodología se probó también en la prueba piloto; sin embargo, el problema que se evidenció es que gran parte de los sujetos de sexo femenino tenían una base de maquillaje puesta, lo que involucraba que, al momento de retirar la marca con la ayuda de una gasa con alcohol, se quitaba también parte del maquillaje. Para evitar ocasionar incomodidad al sujeto de

estudio, ya que las sesiones se realizaron en el horario de la tarde, es decir, a mitad de su jornada, se decidió no optar por esta metodología.

Otro aspecto metodológico que se empleó en el presente estudio es que se indicó a los sujetos de estudio que mantuvieran una sola posición, en máxima intercuspidad, para los 3 métodos evaluados. Pan *et al.*¹¹ también realizaron su investigación en una sola posición, mientras que autores como Cascos *et al.*⁹ y Mai *et al.*⁵⁶ evaluaron los sujetos en posición de máxima intercuspidad y en sonrisa. Estos últimos pudieron obtener una información más completa de la realidad clínica, ya que existe una diferencia en la ubicación de algunos puntos antropométricos que están en la región perioral cuando un paciente está con los labios cerrados, en reposo o en máxima intercuspidad, o cuando está en posición de sonrisa; esto debido al movimiento de los tejidos blandos en cada posición. Para realizar el diagnóstico y planificación de tratamiento, mientras se pueda obtener mayor información de los tejidos faciales del paciente para complementarlo con la data intraoral y de tejidos duros, sería mejor para poder armar el caso clínico; sin embargo, en este estudio se optó por evaluar solo una posición como primer alcance para comparar la precisión de los diferentes métodos de antropometría facial empleados.

Por último, en esta investigación se incluyeron a sujetos de estudio, como lo realizaron otros autores;^{3,7,9,10,13,17,38,39,57} mientras que otro grupo de investigadores^{11,12,16,25,35,43,55,58,59} utilizaron una cabeza de maniquí. Esta diferencia hace que la facilidad con la que se puede ejecutar el estudio sea mayor en los que utilizaron un maniquí, ya que es un objeto inanimado y carece de movimientos involuntarios propios de un ser humano, como el pestañeo, el deglutir, el balanceo

natural del cuerpo en posición erecta del torso, etc. Sin embargo, como el fin de estos dispositivos de escaneo facial es el poder ser utilizados en ambientes clínicos, con pacientes reales, se decidió para este estudio realizar la ejecución en sujetos vivos. Esto aporta un mayor alcance clínico y hace que el presente trabajo tenga validez externa.

En el presente estudio se observó que en las distancias CED-CEI y CD-CI se observaron diferencias mayores de 2 mm entre el método manual y el escaneo facial con aplicativo móvil. Esto es pertinente mencionar, ya que existen varios autores que señalan que una discrepancia < 2 mm se considera clínicamente aceptable;^{10,12} asimismo, otros autores¹⁸ hacen una clasificación un poco más detallada. Ellos indican que una discrepancia de 0-0.5 mm es clínicamente irrelevante; de 2 mm, clínicamente relevante solo si se necesita evaluación a detalles extremos para micro estética; y de 4 mm, clínicamente relevante, cuestionando la aplicabilidad del método.

Este hallazgo es comparable a los resultados reportados por algunos autores quienes, usando diferentes tecnologías de escaneo facial, también observaron variaciones fuera del rango clínicamente aceptable en algunas distancias o áreas evaluadas (CID-CII, CED-CD, región geniana izquierda, la boca, los labios y los ojos), atribuyendo las diferencias a las características anatómicas de la superficie facial, ya que como mencionan ciertos investigadores, mientras más alejados estén los puntos de referencia de la línea media facial, se observa mayor distorsión en las imágenes debido a las curvaturas propias de la superficie de la anatomía de un rostro humano y a la limitación de las tecnologías de escaneo para captar correctamente

estas áreas alejadas de la línea media facial.^{10,30,31} En el presente estudio pudo haber ocurrido esto, ya que la distancia CED-CEI es la distancia lineal horizontal que más alejada está de la línea media facial.

Thurzo *et al.*¹⁸, por su parte, al comparar un escaneo facial con las imágenes obtenidas por una TCHC, concluyeron que en algunas regiones del rostro (región del ala de la nariz, región temporal y orbital) hubo diferencias significativas con amplitudes mayores a 3 mm, por lo que sugirieron considerar una aplicabilidad clínica limitada, solo en casos donde no se necesite una precisión dentro de los 3 mm.

Además de la anatomía facial, otra posible explicación de las discrepancias observadas en la precisión de las mediciones entre el aplicativo móvil y el escáner facial es que este último puede generar modelos 3D con una densidad de malla muy alta, lo que se traduce en una reconstrucción más detallada de la superficie; mientras que en el escaneo con el aplicativo móvil puede generar una menor cantidad de puntos o una malla más dispersa, lo que puede afectar la resolución de la imagen 3D.^{17,25,37}

D'Ettorre *et al.*³⁰ hacen hincapié en que las aplicaciones de teléfonos inteligentes evaluadas muestran resultados prometedores, pero requieren mayor precisión del operador y cooperación del paciente debido al mayor tiempo de adquisición de las imágenes; por el contrario, sus mayores ventajas son el costo y la portabilidad.

La principal fortaleza del presente estudio es que fue realizado en humanos, lo cual aporta un mejor entendimiento de la aplicabilidad clínica de los métodos de antropometría facial desarrollados. Además, otra fortaleza, es que el presente estudio incluye la variable tiempo dentro del desarrollo de la investigación, lo que

la mayoría de autores en la literatura no lo reflejan mayormente. Esto es importante, ya que también está ligado a la aplicabilidad clínica, lo que puede ayudar al profesional a tener otro factor en consideración al elegir cualquiera de los métodos desarrollados.

El presente estudio se realizó en una sola posición de máxima intercuspidad; no hay información de los tejidos blandos en sonrisa o en movimientos funcionales, lo cual puede variar los valores de precisión de las diferentes tecnologías de escaneo facial; sin embargo, esto puede dar pie a que se incluyan estas posiciones en futuras investigaciones para ampliar el conocimiento en el área.

Otra limitación es que el estudio, al realizarse en dos fechas distintas, se necesitó colocar nuevamente los puntos de referencias antropométricos faciales a los sujetos en la segunda fecha, lo que pudo haber generado cierto error aleatorio en estas mediciones; sin embargo, esto se vio controlado, ya que se realizó la calibración en la ubicación de los puntos de referencia antropométricas con un experto previo a la ejecución del estudio.

Por último, la movilidad inherente del ser humano pudo haber generado algún tipo de distorsión en los escaneos; sin embargo, esto se limitó al capacitar al paciente en mantener la misma ubicación para el estudio previo al inicio de los escaneos.

VII. CONCLUSIONES

1. La precisión de las medidas antropométricas entre los 3 métodos: el método manual y escaneado facial con un aplicativo móvil y escáner facial, tuvieron valores similares. Sin embargo, en el método con el aplicativo móvil se tuvo discrepancias mayores a 2 mm en las distancias de CED-CEI y CD-CI.

2. Existe diferencias en el tiempo de medición de las distancias antropométricas faciales entre los tres métodos, siendo el escaneo facial con aplicativo móvil más rápido que el método manual y el escáner facial.

VIII. RECOMENDACIONES

Se sugiere continuar con la línea de investigación e incorporar nuevas posiciones de los sujetos de estudio para poder ampliar el conocimiento en el área. Así mismo, se recomendaría realizar los escaneos faciales con las diferentes tecnologías en un mismo sujeto en una sola fecha, para reducir así al máximo los posibles errores aleatorios. Por último, investigar más dispositivos de escaneos faciales disponibles en el mercado peruano para poder conocer los alcances de su aplicabilidad clínica y que sea información útil para la toma de decisiones de los profesionales.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zacharopoulos G, Manios A, Kau CH, Velagrakis G, Tzanakakis G, de Bree E. Anthropometric Analysis of the Face. *J Craniofac Surg.* 2016;27(1):e71–5.
2. Farkas L, Katic M, Forrest C. International Anthropometric Study of Facial Morphology in Various Ethnic Groups/Races. *J Craniofac Surg.* 2005;16(4):615–46.
3. Piedra-Cascón W, Meyer M, Methani M, Revilla-León M. Accuracy (trueness and precision) of a dual-structured light facial scanner and interexaminer reliability. *J Prosthet Dent.* 2020;124(5):567–74.
4. Lee J, Nguyen O, Lin Y, Luu D, Kim S, Amini A, et al. Facial Scanners in Dentistry: An Overview. *Prosthesis.* 2022;4:664–78.
5. Petrides G, Clark J, Low H, Lovell N, Eviston TJ. Three-dimensional scanners for soft-tissue facial assessment in clinical practice. *Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery.* 2021;74:605–14.
6. Anas I, Bamgbose B, Nuhu S. A comparison between 2D and 3D methods of quantifying facial morphology. *Heliyon.* 2019;5(6):e01880.
7. Düppe K, Becker M, Schönmeyr B. Evaluation of Facial Anthropometry Using Three-Dimensional Photogrammetry and Direct Measuring Techniques. *J Craniofac Surg.* 2018;29(5):1245–51.
8. Coachman C, Calamita M, Sesma N. Dynamic Documentation of the Smile and the 2D/3D Digital Smile Design Process. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2017;37(2):183–93.
9. Cascos R, Ortiz del Amo L, Álvarez-Guzmán F, Antonaya-Martín JL, Celemín-Viñuela A, Gómez-Costa D, et al. Accuracy between 2D Photography and Dual-Structured Light 3D Facial Scanner for Facial Anthropometry: A Clinical Study. *J Clin Med.* 2023;12(9):3090-99.
10. Nogueira BR, Oliveira Junior OB, de Sousa Gomes Costa JL, Zanetti TF, Pretel H. Cloner 3D photogrammetric facial scanner: Assessment of accuracy in a controlled clinical study. *J. Esthet. Restor. Dent.* 2023;35(3):508–16.
11. Pan F, Liu J, Cen Y, Chen Y, Cai R, Zhao Z, et al. Accuracy of RGB-D camera-based and stereophotogrammetric facial scanners: a comparative study. *J Dent.* 2022;127:104302.
12. Liu J, Zhang C, Cai R, Yao Y, Zhao Z, Liao W. Accuracy of 3-dimensional stereophotogrammetry: Comparison of the 3dMD and Bellus3D facial scanning systems with one another and with direct anthropometry. *AJO-DO.* 2021;160(6):862–71.
13. Ye H, Lv L, Liu Y, Liu Y, Zhou Y. Evaluation of the Accuracy, Reliability, and Reproducibility of Two Different 3D Face-Scanning Systems. *Int J Prosthodont.* 2016;29(3):213–8.
14. Bohner L, Gamba DD, Hanisch M, Marcio BS, Tortamano Neto P, Laganá DC, et al. Accuracy of digital technologies for the scanning of facial, skeletal, and intraoral tissues: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2019;121(2):246–51.
15. Joda T, Bragger U, Gallucci G. Systematic Literature Review of Digital Three-Dimensional Superimposition Techniques to Create Virtual Dental Patients. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2015;30(2):330–7.

16. Kook MS, Jung S, Park HJ, Oh HK, Ryu SY, Cho JH, et al. A comparison study of different facial soft tissue analysis methods. *J Craniomaxillofac. Surg.* 2014;42(5):648–56.
17. Andrews J, Alwafi A, Bichu YM, Pliska BT, Mostafa N, Zou B. Validation of three-dimensional facial imaging captured with smartphone-based photogrammetry application in comparison to stereophotogrammetry system. *Heliyon.* 2023;9(5):e1583.
18. Thurzo A, Strunga M, Havlínová R, Reháková K, Urban R, Surovková J, et al. Smartphone-Based Facial Scanning as a Viable Tool for Facially Driven Orthodontics? *Sensors.* 2022;22(20):7752.
19. Pellitteri F, Scisciola F, Cremonini F, Baciliero M, Lombardo L. Accuracy of 3D facial scans: a comparison of three different scanning system in an in vivo study. *Prog Orthod.* 2023;24(1):44-53.
20. Rudy HL, Wake N, Yee J, Garfein ES, Tepper OM. Three-Dimensional Facial Scanning at the Fingertips of Patients and Surgeons: Accuracy and Precision Testing of iPhone X Three-Dimensional Scanner. *Plast Reconstr Surg.* 2020;146(6):1407–17.
21. *Descriptores en Ciencias de la Salud: DeCS [Internet].* ed. 2025. Sao Paulo: BIREME / OPS / OMS. 2025 [actualizado 2025 Mar 28; citado 2025 Jun 18]. Disponible en: <https://decs.bvsalud.org/es/>
22. Antolín AB, Arnaiz González FJ, Cabanas J. Rehabilitación del sector anterosuperior mediante protocolo digital Rehabilitation of the anterior-superior sector using digital protocol. *Av. Odontoestomatol.* 2023;39(4):184-90.
23. Srinivasan M, Leles C, Berisha F, Bronzino I, Milhomens Y, Kim SJ, et al. Clinical evaluation of the accuracy of two face scanners with different scanning technologies. *J Dent.* 2025;153:105553.
24. Antonacci D, Caponio VCA, Troiano G, Pompeo MG, Gianfreda F, Canullo L. Facial scanning technologies in the era of digital workflow: A systematic review and network meta-analysis. *J Prosthodont Res.* 2023;67(3):321–36.
25. Nuytens P, Ruggiero G, Vandeweghe S, D’haese R. Trueness and precision of a handheld, a desktop and a mobile 3D face scanning system: An in vitro study. *J Dent.* 2025;155:105639.
26. Al-Baker B, Alkalaly A, Ayoub A, Ju X, Mossey P. Accuracy and reliability of automated three-dimensional facial landmarking in medical and biological studies. A systematic review. *Eur J Orthod.* 2023;45(4):382-395.
27. Srinivasan M, Handel S, Bronzino I, Kamnoedboon P, McKenna G, Leles CR. Comparing analog and 3D measurements of vertical dimension in edentulous subjects. *J Dent.* 2025;154: 105566.
28. Raffone C, Gianfreda F, Bollero P, Pompeo MG, Miele G, Canullo L. Chairside virtual patient protocol. Part 1: Free vs Guided face scan protocol. *J Dent.* 2022;116:103881.
29. Gibelli D, Dolci C, Cappella A, Sforza C. Reliability of optical devices for three-dimensional facial anatomy description: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2020;49(8):1092–106.
30. D’Ettorre G, Farronato M, Candida E, Quinzi V, Grippaudo C. A comparison between stereophotogrammetry and smartphone structured light technology for three-dimensional face scanning. *Angle Orthod.* 2022;93(2):358–63.

31. Tangthaweesuk N, Raucharernporn S. The accuracy of three-dimensional facial scan obtained from three different 3d scanners. *PLoS One*. 2025;20: e0322358.
32. Conejo J, Dayo AF, Syed AZ, Mupparapu M. The Digital Clone: Intraoral Scanning, Face Scans and Cone Beam Computed Tomography Integration for Diagnosis and Treatment Planning. *Dent Clin North Am*. 2021;65:529–53.
33. Quinzi V, Polizzi A, Ronsivalle V, Santonocito S, Conforte C, Manenti RJ, et al. Facial Scanning Accuracy with Stereophotogrammetry and Smartphone Technology in Children: A Systematic Review. *Children*. 2022;9(9):1390.
34. Amornvit P, Sanohkan S. The accuracy of digital face scans obtained from 3D scanners: An in vitro study. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(24):5061.
35. Michelinakis G, Apostolakis D, Velidakis E. An in vitro Comparison of Accuracy Between Three Different Face Scanning Modalities. *EJPRD*. 2023;31(3):296–307.
36. Mai H, Lee D. Accuracy of Mobile Device-Compatible 3D Scanners for Facial Digitization: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Med Internet Res*. 2020;22(10):e22228.
37. Guo J, Fan X, Yao Y, Yun J, Wang X, Wang Y, et al. Influence of Head Circumference on the Accuracy of Facial Scanning: An In vitro Study. *Int Dent J*. 2025;75(2):898-907.
38. Singh P, Hsung RTC, Ajmera DH, Leung YY, McGrath C, Gu M. Can smartphones be used for routine dental clinical application? A validation study for using smartphone-generated 3D facial images. *J Dent*. 2023;139:104775.
39. Papadopoulou AK, Di Santo F, Antonarakis GS, Ghislanzoni LH. The Validity of a Smartphone-Based Method for Acquiring 3D Images of the Face. *J Clin Med*. 2024;13(21):6362-73.
40. Karabiber G, Yılmaz HN, Yıldırım G. Are different photogrammetry applications on smartphones sufficiently reliable? *Korean J Orthod*. 2025;55(1):37–47.
41. Franco de Sá Gomes C, Libdy MR, Normando D. Scan time, reliability and accuracy of craniofacial measurements using a 3D light scanner. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2019;9(4):331–5.
42. Mai HN, Lee DH. Effects of Artificial Extraoral Markers on Accuracy of Three-Dimensional Dentofacial Image Integration: Smartphone Face Scan versus Stereophotogrammetry. *J Pers Med*. 2022;12(3):490.
43. Thongma-Eng P, Amornvit P, Silthampitag P, Rokaya D, Pisitanusorn A. Effect of Ambient Lights on the Accuracy of a 3-Dimensional Optical Scanner for Face Scans: An in Vitro Study. *J Healthc Eng*. 2022;2022:1-8.
44. Mai HN, Kim J, Choi YH, Lee DH. Accuracy of portable face-scanning devices for obtaining three-dimensional face models: A systematic review and meta-analysis. *IJERPH*. 2021;18:1–15.
45. RAYFace [Internet]. NJ: Ray America.[citado 15 de julio de 2025]. Disponible en: <https://www.rayamericainc.com/products/scan>
46. da Silva R, Ho J, Markarian R, Falacho R, Cortes D, Costa A, et al. Introduction to digital dentistry. In: Cortes Arthur, editor. *Digital dentistry: A step-by-step guide and case atlas*. 1st ed. Oxford: Wiley; 2022. p.3–15.

47. Baccher S, Gowdar IM, Guruprasad Y, Solanki RN, Medhi R, Shah MJ, et al. CBCT: A Comprehensive Overview of its Applications and Clinical Significance in Dentistry. *J. Pharm. Bioallied Sci.* 2024;16:1923–5.
48. Ho J, Costa A, de Queirós J, Nishimura D, Murakami S, No-Cortes J, et al. Computer-Aided Design (CAD). In: Cortes Arthur, editor. *Digital dentistry: A step-by-step guide and case atlas*. 1st ed. Oxford: Wiley; 2022. p.18–52.
49. Srinivasan M, Berisha F, Bronzino I, Kamnoedboon P, Leles CR. Reliability of a face scanner in measuring the vertical dimension of occlusion. *J Dent.* 2024;146:105016.
50. Brunetto JL, Ique MMA, de Moraes Melo Neto CL, Sachi VP, dos Santos DM, Goiato MC. Intraoral and Extraoral Scanning Technologies in the Digital Workflow Era: An Integrative Review with Artificial Intelligence. *OdoVtos – Int. J.Dent. Sci.* 2025;27(1):34–42.
51. Jindanil T, Xu L, Fontenele RC, Perula MC de L, Jacobs R. Smartphone applications for facial scanning: A technical and scoping review. *Orthod Craniofac Res.* 2024;27(2):65-87.
52. Vogt M, Rips A, Emmelmann C. Comparison of iPad Pro®’s LiDAR and TrueDepth Capabilities with an Industrial 3D Scanning Solution. *Technologies.* 2021;9(2):25-38.
53. Joda T, Gallucci GO. The virtual patient in dental medicine. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26(6):725–6.
54. Lepidi L, Galli M, Grammatica A, Joda T, Wang H-L, Li J. Indirect Digital Workflow for Virtual Cross-Mounting of Fixed Implant-Supported Protheses to Create a 3D Virtual Patient. *J Prosthodont.* 2021;30:177–82.
55. Kühnman DC, Almuzian M, Coppini C, Alzoubi EE. Accuracy (trueness and precision) of four tablet-based applications for three-dimensional facial scanning: An in-vitro study. *J Dent.* 2023;135: 104533.
56. Mai HN, Win TT, Tong MS, Lee CH, Lee KB, Kim SY, et al. Three-dimensional morphometric analysis of facial units in virtual smiling facial images with different smile expressions. *J Adv Prosthodont.* 2023;15(1):1-10.
57. Major M, Mészáros B, Würsching T, Polyák M, Kammerhofer G, Németh Z, et al. Evaluation of a Structured Light Scanner for 3D Facial Imaging: A Comparative Study with Direct Anthropometry. *Sensors.* 2024;24(16):5286-301.
58. Gallardo YNR, Salazar-Gamarra R, Bohner L, De Oliveira JI, Dib LL, Sesma N. Evaluation of the 3D error of 2 face-scanning systems: An in vitro analysis. *JPD.* 2023;129(4):630-6.
59. Yuan Y, Liu Q, Yang S, He W. Four-Dimensional Superimposition Techniques to Compose Dental Dynamic Virtual Patients: A Systematic Review. Vol. 14, *J. Funct. Biomater.* 2023;14:33-62.

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Tipo de medición	Escala de medición	Valores
Precisión	Cercanía de un valor determinado de una dimensión física con el valor real (DeCS)	Medida de 5 distancias lineales en 9 puntos de referencia facial: Glabella, subnasal, pogonion de tejidos blandos, cantos internos y externos de los ojos, y comisuras labiales	Aproximación o diferencia frente al valor real de las distancias lineales de 9 puntos de referencias antropométricas.	Cuantitativa continua	De razón	Milímetros
Métodos de antropometría facial	Procedimientos por los que se registran las medidas y proporciones de la cara de una persona.	Procedimientos realizados con diferentes instrumentos para obtener el registro de medidas del rostro de una persona.	Vernier digital Aplicativo en un teléfono inteligente Escáner facial	Cualitativa politómica	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> • Método manual • Escaneo con aplicativo móvil • Escaneo con escáner facial
Covariable						
Tiempo	Magnitud con que se mide la duración de algún acontecimiento.	Tiempo utilizado para el registro de la información en las tres dimensiones de la variable precisión.	Cronómetro	Cuantitativa continua	De razón	Segundos

Anexo 2. Consentimiento Informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN	
Título del estudio:	Comparación de la precisión de mediciones antropométricas entre el método manual, escaneo facial con aplicativo móvil y escáner facial
Investigador:	Andrea Rosales Rojas
Institución:	Universidad Peruana Cayetano Heredia

Propósito del estudio:

Estimado participante, queremos invitarlo a formar parte de un estudio importante que busca comparar la precisión de mediciones antropométricas faciales entre el método manual y método en 3D mediante escaneo facial con un aplicativo móvil y con un escáner facial. Este estudio es llevado a cabo por la doctora Andrea Rosales Rojas, estudiante de Maestría en Estomatología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Procedimiento:

Si usted acepta participar, se realizará lo siguiente:

1. Se ubicarán 9 puntos antropométricos faciales y se marcarán colocando un sticker pequeño en forma de círculo en su rostro.
2. Se realizará la medición manual con la ayuda de un vernier digital.
3. Se realizará la medición 3D mediante el uso de un aplicativo móvil instalado en un celular.
4. Se realizará la medición 3D mediante el uso de un escáner facial, el cual estará ubicado en una mesa frente a usted.

El estudio se realizará en 2 ambientes, en fechas diferentes:

- Una fecha se llevará a cabo en un aula del cuarto piso del Centro Dental Docente de la UPCH-SMP: aquí se realizará la medición manual y el escaneo facial con el aplicativo móvil.

- Otra fecha se llevará a cabo en las instalaciones de la empresa DENTOSHOP en San Isidro, la cual ya ha sido sede de varias capacitaciones por parte de la empresa para los residentes y docentes de la facultad en los últimos años. Aquí se realizará el escaneo facial con el escáner facial.

- Se programará una tercera fecha para los participantes que por algún motivo no pudieron asistir a una de las dos primeras fechas.

Se le comunicará con anticipación las fechas en las que se realizará el estudio en cada sede, puesto que se dispondrá de los ambientes previa coordinación con las instituciones responsables. Asimismo, se le brindará la dirección exacta de la empresa DENTOSHOP para que pueda movilizarse al lugar.

Riesgos:

No existen riesgos al participar en este estudio. El procedimiento para las diferentes mediciones antropométricas es seguro y no causará dolor.

Beneficios:

Se le informará de manera confidencial los resultados obtenidos. Además, se le brindará una charla demostrativa respecto al uso del escáner facial en la empresa DENTOSHOP como parte de una capacitación externa a su programa académico y se le brindará un certificado por la capacitación recibida. Adicionalmente, y en agradecimiento por su tiempo y colaboración, se brindará refrigerios, que constarán de bocaditos y gaseosas, al culminar los procedimientos en cada fecha.

Toda la información recopilada será mantenida en confidencialidad. Solo la investigadora tendrá acceso a sus datos, que serán almacenados en un computador protegido con códigos en lugar de nombres. La información se guardará por un plazo de 6 meses y luego será eliminada. Si los resultados de este estudio se publican, no se revelará ninguna información que permita identificarlo a usted u otros participantes.

Derechos del participante:

Si usted decide participar en el estudio, podrá retirarse en cualquier momento sin sufrir ningún perjuicio. Si tiene alguna duda adicional, por favor contacte a Andrea Rosales Rojas al teléfono [REDACTED]. Si tiene preguntas sobre los aspectos éticos del estudio, o cree que ha sido tratado injustamente puede contactar al Dr. Manuel Raúl Pérez Martinot, presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Peruana Cayetano Heredia al teléfono 01-3190000 anexo 201355 o al correo electrónico: orvei.ciei@oficinas-upch.pe

Asimismo, puede ingresar a este enlace para comunicarse con el Comité Institucional de Ética en Investigación UPCH: <https://investigacion.cayetano.edu.pe/etica/ciei/consultasquejas>

Una copia de este consentimiento informado le será entregada.

DECLARACIÓN Y/O CONSENTIMIENTO

Acepto voluntariamente participar en este estudio. Comprendo las actividades en las que participaré si decido formar parte del estudio. También entiendo que puedo decidir no participar y que puedo retirarme del estudio en cualquier momento.

Nombres y Apellidos:

.....

DNI:

.....

Firma:

.....

Fecha y Hora:

.....

Nombres y Apellidos del Investigador:

.....

Firma del Investigador:

.....

Fecha y Hora: