

**Diseño y validación de un modelo estereolitográfico para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar en residentes de periodoncia en la Universidad Santo Tomás**

**Marleny Jhoana García Parada, María Paula Gómez Mosquera, Luz Adriana Durango**

**Quiñones**

**Trabajo de grado para optar el título de especialista en Periodoncia**

**Director**

**Mario Andrés Guerrero Torres**

**Odontólogo, especialista en Periodoncia**

**Codirector**

**Johanna Otero Wandurraga**

**Magister en salud pública**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ciencias de la Salud**

**Especialización en Periodoncia**

**2025**

## Contenido

1.	Introducción .....	11
1.1.	Planteamiento del problema.....	13
1.2.	Justificación .....	16
2.	Marco teórico.....	18
2.1	Educación de salud .....	18
2.2.	Seno maxilar .....	20
2.2.1	Anatomía del seno maxilar .....	20
2.2.2.	Elevación del seno maxilar .....	21
2.2.3.	Técnica de elevación del seno maxilar.....	22
2.3.	DICOM (Digital imaging and communication in medicine) .....	25
2.4.	Segmentación y tomografía computarizada.....	27
2.4.2.	Segmentación ósea a través de software 3D Slicer .....	29
2.4.3.	Impresión 3D y estereolitografía.....	30
2.4.4.	Impresión tridimensional en la práctica clínica .....	32
2.4.5.	Modelo estereolitográfico .....	32
2.5.	Utilización de modelos estereolitográfico para educación en salud .....	33
2.6.	Validación del instrumento .....	34
3.	Objetivos .....	36
3.1.	Objetivo general.....	36
3.2.	Objetivos específicos .....	36
4.	Materiales y métodos .....	37
4.1.	Tipo de estudio.....	37
4.2.	Población.....	37
4.3.	Muestra y muestreo.....	38
4.4.	Criterios de selección .....	38
4.4.1	Criterios de inclusión .....	38
4.4.2	Criterios de exclusión.....	39
4.5.	Variables .....	39
4.6.	Instrumento .....	39
4.7.	Procedimiento .....	40
4.7.1.	Prueba Piloto .....	42
4.7.2.	Aplicación del instrumento y uso de modelos estereolitográficos .....	44

4.8.	Plan de análisis.....	45
4.8.1.	Plan de análisis del objetivo específico 1.....	45
4.8.2.	Plan de análisis del objetivo específico 2.....	45
4.8.3.	Plan de análisis del objetivo específico 3.....	46
4.9.	Consideraciones éticas .....	46
5.	Resultados .....	48
5.1	Descripción de las especificaciones técnicas del modelo en términos del proceso de diseño y manufactura, y las características físicas. ....	48
5.2	Análisis de la valoración de los atributos de validación del modelo de acuerdo con las técnicas de vía transcrestal y ventana lateral por parte de los expertos. ....	53
5.2.1.	Análisis de Fiabilidad de la Evaluación por Expertos.....	54
5.2.2.	Valoración Unificada por los Expertos.....	54
5.3	Detalle de las experiencias de uso del modelo en la práctica preclínica por parte de residentes de periodoncia.....	58
6.1.	Conclusiones .....	68
6.2.	Recomendaciones .....	69
	Referencias.....	71
	Apéndices.....	82

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Valoración unificada de modelos estereolitográficos realizados por los expertos.....</i>	<i>55</i>
<b>Tabla 2.</b> <i>Estadísticos Descriptivos - Técnica Transcristal .....</i>	<i>60</i>
<b>Tabla 3.</b> <i>Estadísticos Descriptivos - Técnica Ventana Lateral .....</i>	<i>62</i>

**Lista de figuras**

<b>Figura 1.</b> <i>Modelo estereolitográfico desarrollado</i> .....	49
<b>Figura 2.</b> <i>Fichas de cortes 2D de estereolitográfico desarrollado</i> .....	50
<b>Figura 3.</b> <i>Registro fotográfico de impresiones de los modelos estereolitográficos</i> .....	51
<b>Figura 4.</b> <i>Registro fotográfico de modelos estereolitográficos desarrollados</i> .....	53
<b>Figura 5.</b> <i>Registro fotográfico de experiencia de residentes utilizando modelos estereolitográficos</i> .....	59

**Lista de apéndices**

<b>Apéndices A.</b> <i>Operacionalización de las variables</i> .....	83
<b>Apéndices B.</b> <i>Instrumento</i> .....	85
<b>Apéndices C.</b> <i>Consentimiento informado</i> .....	87
<b>Apéndices D.</b> <i>Ficha técnica de modelo esterolitográfico de maxilar superior</i> .....	92

## Resumen

**Introducción:** Tradicionalmente, la formación de los profesionales de la salud dependía en gran medida de la disección de cadáveres. Con el avance de la tecnología, existen nuevos métodos de enseñanza como los modelos estereolitográficos, que ofrecen una representación tridimensional precisa de la anatomía humana y de diversas patologías. **Objetivo:** Diseñar y validar un modelo estereolitográfico desarrollado a partir de la segmentación de archivos DICOM diseñado para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar; implementado por los residentes de periodoncia en el segundo año del 2024 en la Universidad Santo Tomás. **Materiales y métodos:** Se llevó a cabo un estudio de evaluación de pruebas diagnósticas para validar un modelo estereolitográfico desarrollado mediante la segmentación de archivos DICOM. Se utilizó el coeficiente de Alfa de Cronbach para determinar la consistencia interna del instrumento realizado a la muestra seleccionada que fue distribuida por 3 expertos conformados por docentes del postgrado de periodoncia y 18 residentes de periodoncia de la Universidad Santo Tomás. **Resultados:** El modelo estereolitográfico fue diseñado a partir de archivos DICOM y mejorado tras la retroalimentación de expertos, quienes señalaron deficiencias en la fidelidad táctil del hueso y el realismo de la membrana sinusal. Las modificaciones incluyeron una estructura ósea diferenciada y una membrana sinusal teñida y más elástica. La validación final con residentes de periodoncia confirmó la efectividad del modelo, obteniendo una alta consistencia interna del instrumento (Alfa de Cronbach de 0.866 y 0.970) y una valoración general positiva (mediana de 4.0), destacando su alto valor didáctico, realismo y facilidad de uso para la práctica preclínica. **Conclusión:** El modelo estereolitográfico diseñado a partir de archivos DICOM y mejorado tras la retroalimentación de expertos demostró ser una herramienta educativa efectiva para la práctica preclínica de elevación

de seno maxilar. Las mejoras incluyeron una estructura ósea diferenciada y una membrana sinusal optimizada. La evaluación con residentes confirmó su alta efectividad y utilidad pedagógica, con consistencia interna excelente y muy positiva percepción.

**Palabras clave:** Elevación del piso del seno maxilar, Impresión Tridimensional, Residencia en Odontología, Entrenamiento Simulado.

### Abstract

**Introduction:** Traditionally, the training of health professionals has relied heavily on cadaver dissection. With the advancement of technology, new teaching methods have emerged, such as stereolithographic models, which offer an accurate three-dimensional representation of human anatomy and various pathologies. **Objective:** To design and validate a stereolithographic model developed from DICOM file segmentation for preclinical practice of maxillary sinus lift via transcrestal and lateral window approaches; implemented by second-year periodontics residents in 2024 at Santo Tomás University. **Methodology:** A diagnostic test evaluation study was conducted to validate a stereolithographic model developed through DICOM file segmentation. Cronbach's alpha coefficient was used to determine the internal consistency of the instrument. The sample was administered to three experts, comprised of periodontics graduate professors and 18 periodontics residents from the University of Santo Tomas. **Results:** The stereolithographic model was designed from DICOM files and improved following expert feedback, which highlighted deficiencies in the tactile fidelity of the bone and the realism of the sinus membrane. Modifications included a differentiated bone structure and a stained, more elastic sinus membrane. Final validation with periodontal residents confirmed the model's effectiveness, yielding high internal consistency (Cronbach's alpha of 0.866 and 0.970) and a positive overall rating (median of 4.0), highlighting its high educational value, realism, and ease of use for preclinical practice. **Conclusion:** The stereolithographic model, designed from DICOM files and improved after expert feedback, proved to be an effective educational tool for preclinical sinus lift practice. Improvements included a differentiated bone structure and an optimized sinus membrane. Evaluation with residents confirmed its high effectiveness and educational utility, with excellent internal consistency and very positive perceptions.

**Keywords:** Sinus Floor Augmentation; Printing, Three-Dimensional; Residency, Dental; Simulation Training.

## 1. Introducción

La educación en medicina ha experimentado una evolución significativa a lo largo de los años. Tradicionalmente, la formación de los profesionales de la salud dependía en gran medida de la disección de cadáveres, una práctica que, aunque efectiva, presentaba diversas limitaciones en términos de disponibilidad y repetibilidad (Cecilio-Fernandes et al., 2023). Con el avance de la tecnología, se han desarrollado nuevos métodos de enseñanza que han revolucionado la forma en que los estudiantes adquieren conocimientos y habilidades. Uno de estos avances es el uso de modelos estereolitográficos, o modelos impresos en 3D, que ofrecen una representación tridimensional precisa de la anatomía humana y de diversas patologías (Mcmenamin et al., 2014; Mogali et al., 2018).

Estos modelos no solo superan las limitaciones de disponibilidad de los cadáveres, sino que también proporcionan una herramienta de aprendizaje altamente efectiva y segura. Los modelos estereolitográficos permiten a los estudiantes interactuar con estructuras anatómicas complejas de manera más realista, facilitando una comprensión más profunda y una práctica más precisa de los procedimientos médicos (Garas et al., 2018a). Además, su capacidad para ser replicados en cantidades ilimitadas permite una práctica continua sin restricciones, mejorando la preparación y la confianza de los futuros profesionales de la salud (Chen et al., 2020).

En el ámbito de la odontología, específicamente en la formación de residentes de periodoncia, la necesidad de métodos de enseñanza más efectivos es particularmente evidente. La elevación de seno maxilar, un procedimiento crítico en la implantología dental requiere una comprensión detallada de la anatomía y una destreza quirúrgica precisa (Cayo-Rojas et al., 2020; Gutiérrez Mesa et al., 2018; López, 2023). La implementación de modelos estereolitográficos de alta fidelidad para la práctica preclínica ofrece una solución innovadora a los desafíos tradicionales

de enseñanza en este campo. A través de un proceso riguroso de validación por expertos y usuarios, estos modelos se perfeccionan continuamente para garantizar su efectividad como herramientas educativas (Radzi et al., 2022). Por esto; se diseñará un modelo estereolitográfico a partir de archivos DICOM que replicará la anatomía que comprende el seno maxilar; este modelo se creará a partir de segmentación de las imágenes; y posteriormente se realizará la el prototipado en material resina(Crook, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, para establecer el grado de exactitud y efectividad del modelo 3D en la adquisición de habilidades, es necesario realizar una validación exhaustiva. La primera etapa de esta validación la llevan a cabo expertos clínicos con más de 5 años de experiencia en la técnica de elevación de seno maxilar. Estos expertos examinan el modelo desde diversas perspectivas, evaluando su anatomía, realismo y utilidad como herramienta educativa y práctica. Sus comentarios son fundamentales para orientar ajustes y mejoras en el diseño, asegurando que cumpla con los estándares clínicos más rigurosos. La segunda etapa de la validación involucra a residentes de periodoncia que utilizarán el modelo para su práctica de elevación de seno maxilar. Sus opiniones sobre la experiencia de uso, la eficacia en la enseñanza y la utilidad en la práctica preclínica se recopilan y se utilizan para realizar refinamientos finales. Este proceso de retroalimentación continua garantiza que el modelo sea una herramienta educativa eficaz y valiosa, permitiendo a los futuros profesionales adquirir habilidades de manera efectiva y segura (Nica et al., 2021).

### **1.1. Planteamiento del problema**

Según el reporte de seguridad del paciente de la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente 1 de cada 10 pacientes sufre algún daño al recibir atención sanitaria, y cada año más de 3 millones de personas fallecen como consecuencia de ello (OMS, 2023). Por esta razón, a nivel mundial se han desarrollado estrategias para mejorar la seguridad del paciente. Una de estas estrategias es la implementación de la simulación clínica (Panagioti et al., 2019). Esta simulación clínica es una herramienta educativa con la que se favorece la adquisición de ciertas habilidades técnicas y competencias necesarias para el cuidado de la salud (Dávila-Cervantes, 2014).

Indudablemente, la elevación de seno maxilar es una técnica crítica en la odontología implantológica, su dominio es esencial para la formación y las habilidades de los profesionales de este campo (Cayo-Rojas et al., 2020; Gutiérrez Mesa et al., 2018). Es un procedimiento quirúrgico empleado en odontología y cirugía oral para incrementar la altura del hueso en la región postero - superior de la mandíbula (Lyu et al., 2023) Esta técnica se ha convertido en un componente esencial de la implantología dental, ya que facilita la colocación segura de implantes dentales en pacientes con una cantidad insuficiente de hueso maxilar para anclar los implantes de manera efectiva (Schwarz et al., 2015).

Sin embargo, uno de los problemas recurrentes en la enseñanza y práctica de esta técnica es la falta de modelos anatómicamente precisos y asequibles que permitan a los estudiantes adquirir experiencia de manera efectiva. La ausencia de acceso a modelos preclínicos económicos y anatómicamente correctos representa un obstáculo significativo en la formación (Chan et al., 2013).

Los modelos actuales que son utilizados para la práctica preclínica de la elevación de seno maxilar, como el diseñado por la casa comercial nissin; son costosos y, a menudo, difíciles de

conseguir en cantidades suficientes para una enseñanza efectiva. Esto no solo afecta la calidad de la formación, sino que también puede limitar las oportunidades de los estudiantes para adquirir las habilidades necesarias para realizar procedimientos de elevación de seno maxilar en el futuro; además, las instituciones educativas pueden acudir a técnicas de enseñanzas adicionales, como simulaciones virtuales, prácticas en cadáveres reales o modelos impresos en 3D, debido al desafío de acceder a estos modelos. Estas opciones no solo pueden reducir los costos, sino que también pueden mejorar la competencia de los estudiantes en la técnica de elevación de seno maxilar. En consecuencia, la falta de modelos económicos y disponibles pueden tener una influencia negativa directa en la competencia y preparación de los futuros profesionales de la odontología implantológica (Cortes et al., 2015)

Actualmente, la eficacia de los simuladores para el entrenamiento en odontología es ampliamente aceptada. Un estudio de Hanafi y col realizado en el 2020 evaluó un modelo dental de entrenamiento modular impreso en 3D, con dientes naturales. Utilizando datos de tomografía volumétrica de haz cónico, se creó un modelo 3D con dientes removibles. Sesenta y ocho estudiantes realizaron tratamientos de conducto en dientes naturales, verificando la longitud de trabajo con localizadores de ápice electrónicos y radiografías. El 87% encontró el modelo más exigente que los convencionales, pero el 96% se sintió mejor preparado, el 92% experimentó menos estrés y el 93% recomendó su uso futuro (Hanafi et al., 2020).

Por otro lado, múltiples estudios nacionales e internacionales destacan la importancia de la simulación clínica en el desarrollo de habilidades quirúrgicas. Entre estos estudios podemos destacar: un estudio que se realizó en la Clínica Oftalmológica del Caribe en Barranquilla, Colombia en el año 2019. En el estudio utilizaron simuladores específicamente quirúrgicos tipo Eyesi, el cual es una plataforma con evidencia de impacto en el entrenamiento de cirugía de

catarata. Entre los resultados obtenidos cabe destacar que después de utilizar la simulación, se obtuvo que el grupo de cirujanos en entrenamiento expuestos al entrenamiento con simulación tuvo una tasa promedio de complicaciones de 2%, mientras que el grupo de no simulación tuvo una tasa promedio de complicaciones de 4% (Escaf et al., 2019).

Otro estudio que se realizó en el Hospital de Clínicas de la Universidad de la República en Montevideo, Uruguay, que tuvo por objetivo evaluar la calidad y el costo de los modelos 3D impresos con tecnología FDM a partir de imágenes tomográficas de pacientes con fracturas mandibulares, y evaluar los beneficios del uso de estos modelos en la planificación preoperatoria, en la enseñanza académica de residentes de Cirugía Plástica (Mantrana et al., 2018). El modelo estereolitográfico permite una visualización tridimensional precisa de las estructuras anatómicas del paciente, tanto visual como táctilmente, lo que facilita la interacción dinámica con el modelo físico a escala real; y su uso ha demostrado ser de gran utilidad en la optimización de resultados del tratamiento, en la reducción de tiempos anestésico-quirúrgicos, y en la mejora de la enseñanza académica de residentes en formación especializada (Mantrana et al., 2018).

En México en el año 2020; se realizó un estudio en el Hospital General en la División de Cirugía Plástica y Reconstructiva; estudio que buscaba destacar las principales aplicaciones de la impresión 3D, incluyendo la creación de modelos anatómicos, la planificación de procedimientos quirúrgicos, la fabricación de implantes y prótesis personalizadas, la creación de instrumental quirúrgico específico y el uso de biotintas en ingeniería tisular. Entre los resultados se mencionaron casos donde la impresión 3D permitió planificar procedimientos correctivos en pacientes con defectos craneales, obteniendo excelentes resultados. Además, se resaltó la utilidad de la impresión tridimensional en la creación de prótesis personalizadas. Los autores resaltan que esta tecnología

prometedora tiene un alto potencial para implementar cambios positivos en la práctica de la cirugía plástica (Telich-Tarriba et al., 2020).

En consecuencia, y analizando el éxito descrito en los resultados de los otros estudios; la necesidad de un modelo estereolitográfico asequible y altamente preciso para la práctica preclínica de la elevación del seno maxilar, que se centre en el aprendizaje detallado de la anatomía y la técnica a través de la ventana lateral y transcrestal, se convierte en un desafío crítico que debe abordarse para mejorar la calidad de la formación médica y la práctica clínica en este campo (Nica et al., 2021).

Por lo tanto, el problema central que motiva este proyecto de investigación es la necesidad de diseñar y validar un modelo estereolitográfico que permita el desarrollo de prácticas preclínicas de elevación de seno maxilar tanto por la técnica de ventana lateral como por la vía transcrestal, superando así las limitaciones que surgen de la falta de acceso a esta herramienta. De acuerdo con lo planteado anteriormente, el diseño y validación del modelo estereolitográfico para la práctica de elevación de seno maxilar a través de las técnicas de ventana lateral y vía transcrestal en los estudiantes de segundo año de periodoncia plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es el modelo estereolitográfico adecuado para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar en residentes de periodoncia en la Universidad Santo Tomás?

## **1.2. Justificación**

El uso de modelos estereolitográficos en la educación ha ganado interés en los últimos años debido a su potencial para mejorar el aprendizaje de la anatomía y las técnicas específicas, esto tanto en el área de la medicina como en el área de la odontología y las diferentes especialidades (Oviedo-Quirós et al., 2021). Durante los últimos 25 años, los avances en tecnología digital e

imagenología han revolucionado la odontología con la implementación de protocolos de modelado en tercera dimensión (3D). Los modelos estereolitográficos han ido reemplazando gradualmente a los modelos tradicionales y a los rayos X en el abordaje de anomalías craneofaciales. Este cambio ha traído consigo diversas ventajas, como una mejor visualización de estructuras anatómicas complejas y la posibilidad de realizar planes quirúrgicos más precisos y sofisticados, gracias a la simulación del procedimiento de interés (Ruiz et al., 2015).

Actualmente en el mercado existen modelos con los cuales realizar prácticas preclínicas de procedimientos específicos para el aumento de la disponibilidad ósea para la posterior colocación de implantes dentales, estos modelos se necesitan para el desarrollo de competencias teórico-prácticas; estos modelos tienen algunas limitaciones, en primer lugar, son comercializados y fabricados por fuera del territorio nacional (importados), esto restringe su accesibilidad y utilidad en entornos educativos y clínicos con recursos limitados. Por otra parte, los costos oscilan entre 40 y 100 dólares (Amazon y Ali Express) o entre 23 y 65 euros (medical expo). La dificultad para conseguir modelos de calidad en los que se pueda reproducir fielmente la técnica de elevación del seno maxilar a través de la ventana lateral y transcrestal constituye otra barrera significativa para la práctica preclínica efectiva (Youman et al., 2021).

La falta de fidelidad anatómica en los modelos de simulación restringe la comprensión completa de la anatomía y la ejecución precisa y segura de procedimientos quirúrgicos por parte de los profesionales médicos en formación. La escasez de modelos precisos limita la adquisición de experiencia práctica y habilidades técnicas relevantes, lo que afecta negativamente su preparación para la cirugía real (Santos & Júnior, 2021).

A partir de presente trabajo se van a beneficiar los estudiantes de pregrado y postgrados de la facultad de odontología de la Universidad Santo Tomas; por el desarrollo de nuevas tecnologías

donde se utilizarán modelos estereolitográficos para la simulación de procedimientos que requieran unas estructuras tridimensionales para reproducir la anatomía tanto intra como extra oral con una similitud en tamaño y variaciones anatómicas de cada una de las estructuras. Además esta investigación servirá de base para el desarrollo de nuevos modelos estereolitográficos para los diferentes procedimientos que requieran un entrenamiento previo por parte de los estudiantes, garantizando la simulación adecuada para que la curva de aprendizaje en los diferentes profesionales sea mucho más corto al utilizar primeros impresiones tridimensionales para la práctica y posterior utilizar dicho aprendizaje en cada uno de los pacientes tratados disminuyendo el margen de error en las diversas técnicas utilizadas en el día a día en la praxis odontológica.

Con el desarrollo de los modelos estereolitográficos para la práctica preclínica de las técnicas de elevación de seno maxilar, se está abriendo un campo del uso de las impresiones tridimensionales en la preparación de estudiantes de pregrado y postgrado de odontología; que permitan realizar una replicabilidad de los procedimientos garantizando la similitud de los modelos a la anatomía humana. Esto nos permite aumentar la curva de aprendizaje en los diferentes profesionales de odontología garantizando un mayor porcentaje de éxito en los procedimientos que se realicen posteriormente en cada uno de los pacientes.

## **2. Marco teórico**

### **2.1 Educación de salud**

Durante la última década, el papel de la enseñanza anatómica en el plan de estudios de medicina ha cambiado considerablemente. En algunas facultades de medicina, la disección activa de muestras cadavéricas está siendo reemplazada gradualmente por métodos basados en las

proyecciones digitales y otros recursos como el aprendizaje a través de medios electrónicos. La Escuela de Medicina de Warwick ha obtenido recientemente una gran colección de modelos estereolitográficos, que reemplazan las muestras cadavéricas húmedas en la enseñanza de anatomía de pregrado (Fruhstorfer et al., 2011). La impresión tridimensional 3D es una técnica moderna para crear modelos impresos en 3D, que permite la reproducción de estructuras humanas a partir de exploraciones por resonancias magnéticas y tomografía computarizada mediante la fusión de múltiples capas de materiales resinosos (Garas et al., 2018b).

Es importante destacar que los métodos tradicionales de estudio de la anatomía, como la disección, se ha utilizado durante siglos y todavía se utilizan en el plan de estudios médico moderno. El conocimiento de la anatomía macroscópica es necesaria para la práctica clínica y es preliminar a la cirugía el entrenamiento y ejecución adecuada de procedimientos quirúrgicos. Además, tras la visión dimensional y la sensación del cuerpo humano se consideran de suma importancia en anatomía (Garas et al., 2018b).

Sin embargo, existen numerosos problemas asociados con el uso de este método tradicional, tales como costos asociados con la obtención y preservación de cadáveres humanos, mantenimiento de laboratorios de anatomía, cuestiones éticas, legales y religiosas relacionadas con los programas de legado de donantes, el uso de materiales cadavéricos basados en diferentes orígenes culturales y religiosos y garantizando seguridad de los estudiantes y el personal (Garas et al., 2018b).

## **2.2. Seno maxilar**

### **2.2.1 Anatomía del seno maxilar**

El seno maxilar, también llamado cueva o antro de Highmore, fue descrito en 1691 por Nathaniel Highmore, aunque se han descubierto referencias más antiguas en textos de Hipócrates (siglo V a. C.), Ingrassius (1891), Julius Casserius (1612) y Berenger de Carpi (siglo XVI)(Castellanos & Montoya, 2012).

El seno maxilar se empieza a desarrollar a las 10 semanas de vida intrauterina, como una evaginación de las fosas nasales que invade sus paredes laterales y se adentra en ellas. El seno maxilar desciende durante la duodécima semana, hacia adelante y atrás. En el momento del nacimiento, es una fosa ligeramente individualizada de unos 6-8 ml, no detectable radiográficamente, hasta el cuarto o quinto mes de vida posnatal. El desarrollo del seno maxilar está íntimamente relacionado con el desarrollo dental, ya que dentro de este se forman los dientes molares temporales y posteriormente los dientes premolares y molares permanentes. A los seis años, prácticamente alcanza el hueso malar lateralmente e inicia su expansión vertical con la erupción del primer molar, que libera el espacio hasta entonces ocupado por su germen(Castellanos & Montoya, 2012).

Los senos paranasales son cavidades en el cráneo y el macizo facial. Tienen diversas funciones tales como calentar el aire que entra a través de las fosas nasales, la tonalidad de la voz y la aireación. Son cuatro y cada uno lleva el nombre del hueso en el que se aloja. Su forma es de pirámide irregular con la siguiente disposición: la base se encuentra dirigida hacia la fosa nasal y el vértice hacia el hueso malar. Su límite superior es el borde inferior de la órbita y el inferior las

raíces de los dientes posteriores. Está recubierto por mucosa estratificada cilíndrica ciliada (epitelio respiratorio). El orificio natural de drenaje es el ostium (Mesa et al., 2018).

Se puede distinguir del seno maxilar una base interna (nasal), un vértice cigomático o malar (orientado hacia el cuerpo del hueso malar) y tres paredes, una pared superior u orbitaria constituida por una lámina ósea compacta que la separa de la cavidad orbitaria, una pared posterior, pterigomaxilar o tuberositaria, constituida por la parte posterior del maxilar posterior y, a su vez, está separada por las fosas craneales infratemporal y pterigopalatina, y una pared antero inferior o yugal, algo angulada, que se relaciona con la región geniana en su parte externa (Castellanos & Montoya, 2012).

### **2.2.2. Elevación del seno maxilar**

La elevación del piso del seno, es un aumento interno del seno maxilar, cuyo objetivo es aumentar la dimensión vertical en el maxilar, para hacer posible el uso de implantes dentales. La operación fue concebida e implementada por Tatum en la reunión de implantes de Birmingham, Alabama, de 1976 (Tatum 1986; Chanavaz 1990). Él modificó la técnica en los debidos años. La primera publicación sobre esta técnica quirúrgica fue sin embargo por Boyne seguido por el propio Tatum (Van Den Bergh et al., 2000b).

La operación clásica de elevación de seno maxilar consiste en la preparación de una bisagra superior en la pared lateral del seno maxilar. Esta puerta se luxa hacia adentro y hacia arriba junto con la Membrana de Schneider en posición horizontal, formando el nuevo fondo del seno. Se llena el espacio debajo de esta puerta elevada y la mucosa sinusal con material de injerto óseo (Van Den Bergh et al., 2000).

Las técnicas de elevación de seno tuvieron muchas modificaciones a lo largo de los años. En 1960 Boyene publicó la elevación de seno con acceso lateral. Al principio se utilizaba para lograr una distancia intercrestal óptima necesaria para la fabricación de prótesis. Aunque la técnica del acceso lateral sufre varias modificaciones, sigue siendo un concepto integral. Como consecuencia de la búsqueda de un método menos invasivo, en 1994 Summers simplificó el protocolo quirúrgico ofreciendo un acceso crestal. Al principio, la técnica del osteotomo se utilizaba principalmente para la congestión del tejido óseo relativamente blando del maxilar superior. Esto mejoró la estabilidad primaria de los implantes, dando una garantía de éxito. Summers inició la dilatación del suelo del seno, aumentando así la longitud de sus implantes. Las desventajas de esta técnica son sus indicaciones limitadas: la falta de altura de 1 a 2 mm y la ausencia de control visual directo del estado de la membrana (Abadzhiev, 2010b).

La elevación del seno maxilar, es parte fundamental de la implantología, ya que permite la colocación segura de implantes dentales en pacientes que presentan una cantidad insuficiente de hueso alveolar en la zona del seno maxilar (Schwarz et al., 2015).

Las primeras tentativas de elevar el seno maxilar se remontan a la década de 1970, cuando se desarrollaron las primeras técnicas. Estas primeras técnicas solían requerir incisiones más grandes y la elevación manual de la membrana sinusal, lo que aumentaba el riesgo de complicaciones y prolongaba la recuperación del paciente (Pjetursson et al., 2008).

### **2.2.3. Técnica de elevación del seno maxilar**

La elevación del seno maxilar ha experimentado una notable evolución a lo largo de los años. Inicialmente, la técnica era más invasiva y se asociaba con mayores tasas de complicaciones.

Con el avance de la tecnología y la comprensión de la biología ósea, se han producido mejoras significativas en la técnica y los materiales utilizados (Pjetursson et al., 2008).

Existen varias técnicas para llevar a cabo la elevación del seno maxilar, y su elección depende de la anatomía y las necesidades específicas de cada paciente. Las técnicas más comunes son (Chan et al., 2013; Cortes et al., 2015; Schwarz et al., 2015):

- Técnica de Elevación de Seno con ventana lateral descrita en 1970 por Tatum: Esta técnica implica crear quirúrgicamente una abertura en la pared lateral del seno y luego levantar suavemente la membrana de Schneider para facilitar la colocación de los implantes de longitud adecuada. El uso del abordaje lateral es particularmente valioso en casos de déficit óseo sustancial porque permite un aumento de la altura vertical del hueso en más de 9 mm. La osteotomía se puede ejecutar utilizando una pieza de mano de alta velocidad o instrumentos piezoeléctricos precisos. El uso de una punta piezoeléctrica para preparar la ventana reduce en gran medida la probabilidad de perforación de la membrana y da como resultado un procedimiento general más seguro (Alshamrani et al., 2023b).

- Técnica de Elevación de Seno Crestal descrita por Summers RB en 1994: Esta técnica implica una elevación transalveolar del suelo del seno maxilar. Este enfoque ofrece varias ventajas, que incluyen procedimientos quirúrgicos eficientes, duración quirúrgica reducida, menos complicaciones, menor malestar post operatorio y mayor satisfacción del paciente. Además, el abordaje con osteotomo suele aumentar la altura vertical del hueso de 3 a 9 mm (Alshamrani et al., 2023b).

La selección de la técnica quirúrgica adecuada para los procedimientos de elevación de seno depende principalmente de la altura del hueso existente antes del implante. El abordaje transcrestal tiende a preferirse cuando la altura del hueso residual es de como mínimo 5 mm. En

los casos en los que la altura del hueso residual es de 5 mm o menos, el abordaje en ventana lateral se considera más adecuado (Alshamrani et al., 2023b).

La elevación del seno maxilar se realiza por diversas razones (Cortes et al., 2015; Schwarz et al., 2015):

- Presencia de reabsorción ósea del reborde alveolar: La causa principal es la falta de altura en el hueso maxilar posterior; que puede deberse a ausencias dentales, o la anatomía natural del paciente, neumatización del seno maxilar .
- Consideraciones protésicas: Una de las finalidades de la elevación del seno maxilar es proporcionar una base ósea adecuada para la colocación de implantes dentales o cualquier diseños protésicos (Chan et al., 2013).

Uno de los avances más significativos ha sido el desarrollo de materiales de injerto. Inicialmente, se utilizaban principalmente hueso autólogo, que requería una segunda incisión en otro sitio del cuerpo del paciente para obtener el injerto. Sin embargo, esto conllevaba un mayor riesgo de complicaciones. Con el tiempo, se han introducido materiales de injerto óseo como el aloinjerto y materiales sintéticos como xenoinjerto, que son más seguros y eficaces. La evolución más importante en la elevación del seno maxilar ha sido que a través de unos parámetros establecidos, poder escoger la técnica idónea según lo amerite el caso específico. Cabe destacar que la técnica crestal ha permitido realizar el procedimiento con incisiones más pequeñas y menos molestias para el paciente. Además, la planificación digital y las guías quirúrgicas han mejorado la precisión y la predictibilidad del procedimiento (Pjetursson et al., 2008).

Se han realizado investigaciones sobre la regeneración ósea, la angiogénesis y la formación de tejido blando en la zona sinusal, lo que ha llevado a protocolos quirúrgicos más efectivos y una recuperación más rápida (Pjetursson et al., 2008). Hasta el día de hoy, la elevación

del seno maxilar es una intervención común en la práctica de la implantología dental. Se ha convertido en un procedimiento seguro y predecible gracias a los conocimientos y parámetros para determinar la técnica quirúrgica y materiales de injerto en cada caso.

Los pacientes que anteriormente no eran candidatos para implantes dentales debido a la falta de hueso alveolar en la zona del seno maxilar, ahora pueden beneficiarse de esta técnica. La planificación digital permite a los cirujanos realizar procedimientos altamente personalizados y minimizar los riesgos (Kanayama et al., 2016).

### **2.3. DICOM (Digital imaging and communication in medicine)**

La integración semántica de datos e imágenes médicas utilizando estándares como DICOM y vocabularios controlados tiene como objetivo principal mejorar la recuperación y el análisis de imágenes médicas mediante anotaciones semánticas y descriptores visuales. Las tecnologías digitales, como la radiología digital, resonancia magnética, tomografía computarizada, ultrasonido, mamografía digital, medicina nuclear, han revolucionado el campo de la medicina, generando grandes volúmenes de imágenes médicas digitales (Larobina, 2023).

El formato DICOM, desarrollado por el American College of Radiology (ACR) y la National Electrical Manufacturers Association (NEMA), se utiliza para almacenar imágenes médicas y garantizar la interoperabilidad entre los sistemas que las manejan. Los archivos DICOM contienen tanto datos demográficos del paciente como datos de las imágenes médicas, gestionados por sistemas de archivo y comunicación de imágenes médicas (PACS) (Bidgood & Horii, 1992).

Además, se emplean técnicas de indexación y clustering de imágenes basadas en descriptores de bajo nivel para agrupar imágenes similares y mejorar la eficiencia de la recuperación (Mantri et al., 2022; Millán et al., 2014).

El estándar DICOM es fundamental para la comunicación y el intercambio de imágenes médicas. DICOM define un formato común y un protocolo de comunicación que garantizan la interoperabilidad entre dispositivos y sistemas de información utilizados en el campo de la medicina. La interoperabilidad es esencial en el sector de la salud debido a la diversidad de dispositivos y sistemas empleados. Garantizar que estos sistemas puedan comunicarse y compartir datos de manera efectiva mejora la atención médica y la gestión de la información (Larobina, 2023).

El estándar DICOM, como punto central, es un conjunto de reglas y protocolos diseñados para garantizar la adquisición, almacenamiento, transmisión y visualización consistentes de imágenes médicas y datos relacionados en dispositivos médicos y sistemas de información de salud. DICOM utiliza etiquetas y elementos de datos para organizar y estructurar la información en archivos médicos. La estructura típica de un archivo DICOM incluye una cabecera, que contiene información sobre la aplicación y metadatos del archivo, y un cuerpo que contiene los datos reales de la imagen en forma de conjuntos de datos (Drnasin et al., 2017; Moreno-Torres et al., 2015).

La extracción y transformación de los valores de los píxeles de la imagen, almacenados en el elemento PixelData, considera factores como el número de canales de la imagen, la asignación de bits y la representación de píxeles (Bidgood & Horii, 1992; Drnasin et al., 2017; Moreno-Torres et al., 2015).

Conceptos como la Grayscale Standard Display Function se aplican para mejorar la visualización. La escala de grises de las imágenes DICOM se ajusta mediante la modificación de los valores de los píxeles según los valores de rescale intercept y rescale slope. En caso de que estos valores no estén presentes, se realiza una última transformación para limitar el rango de

intensidad de grises y ajustar el contraste y el brillo de la imagen (Bidgood & Horii, 1992; Drnasin et al., 2017; Larobina, 2023).

Los DICOM abordan cinco áreas de aplicación generales: gestión de imágenes de red, gestión de interpretación de imágenes de red, gestión de impresión de red, gestión de procedimientos de imágenes y gestión de medios de almacenamiento fuera de línea. DICOM es una especificación completa de los elementos necesarios para lograr un nivel práctico de interoperabilidad automática entre sistemas informáticos de imágenes biomédicas (Bidgood et al., 1997).

#### **2.4. Segmentación y tomografía computarizada**

Podría decirse que los orígenes de la segmentación se remontan a Roberts en 1963 o Brice en 1970 y sigue siendo un área activa de investigación. La segmentación es el proceso que subdivide una imagen en sus partes u objetos constituyentes para producir una representación que sea significativa o más fácil de analizar. El nivel al que se realiza esta subdivisión depende del problema que se esté resolviendo, es decir, la segmentación debe detenerse cuando se han aislado los objetos de interés en una aplicación. Estas técnicas o métodos de segmentación de imágenes se clasifican en dos categorías principales: Métodos de segmentación basados en capas y Métodos de segmentación basados en bloques (Zaitoun & Aqel, 2015).

En este campo, el objetivo de la segmentación es utilizar las imágenes tomográficas capturadas en 2D y reconstruirlas en un modelo 3D, tras lo cual se aplica un algoritmo para aislar datos que representan órganos, estructuras neurológicas o huesos; pero no existe un algoritmo de segmentación único disponible que pueda resolver todos los problemas. Los éxitos en el área de la

segmentación 3D de órganos/tejidos son enormes y se pueden encontrar excelentes críticas en esta área de elección (Crook, 2020).

Por otro lado; la tomografía computarizada nos otorga imágenes volumétricas de las estructuras faciales en 2D; los datos obtenidos son convertidos en imágenes 3D de las estructuras craneomaxilares del paciente mediante secuencias de algoritmos computarizados. En la actualidad existen programas CAD-CAM que se han utilizado para planear y predecir procedimientos del complejo craneomaxilofacial; esta aplicación permite importar los datos de tomografías computarizadas en formato DICOM para generar reconstrucciones en 3D craneomaxilofaciales idénticas a la estructura ósea facial y entonces los datos pueden ser utilizados para diseñar un modelo estereolitográfico en el cual se puede realizar una cirugía simulada con el 97% de efectividad y adecuado acercamiento a la realidad. La fabricación del modelo estereolitográfico en 3D involucra un proceso que utiliza un software especializado que vincula la información obtenida de la tomografía computarizada y la transfiere a un modelo en resina epóxica; el proceso comienza en un tanque con resina polimerizable y un láser. El modelo es fabricado en una serie de capas, que corresponden cada una al equivalente del corte axial de la tomografía computarizada (Cortés et al., 2015).

Las imágenes obtenidas en una TAC, son almacenadas bajo el estándar DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*) utilizado internacionalmente y pensado para el manejo, visualización, almacenamiento, impresión y transmisión de imágenes médicas. El estándar describe el formato de archivos y la especificación de los datos primordiales de un paciente en la imagen, así como el encabezado requerido, describiendo un lenguaje común a distintos sistemas médicos. De esta forma las imágenes vienen acompañadas de mediciones, cálculos e información descriptiva relevante para diagnósticos. La segmentación es la división de una imagen en un

conjunto de regiones homogéneas y significativas, de tal manera que los píxeles en cada región particionada poseen un conjunto similar de propiedades o atributos (García & Portal, 2020).

Los conjuntos de propiedades de la imagen pueden incluir los niveles de grises, el contraste o propiedades texturales. Los métodos de segmentación a emplear están determinados por el tipo de imagen, la estructura anatómica u objeto a identificar y el objetivo específico que se quiere lograr con el proceso. Elementos como el ruido, volúmenes parciales y movimientos en la imagen, también pueden tener consecuencias significativas en el desempeño de los algoritmos de segmentación, porque cada imagen y tipo de tejido tiene un conjunto de características propias. Existen diversos métodos de segmentación y no es factible la utilización de una técnica genérica que se aplique a todas las situaciones que requieren de procesamiento de la imagen médica. Se utiliza una combinación de las técnicas de segmentación existentes, en función de la imagen y lo que se quiera alcanzar como resultado (García & Portal, 2020).

#### **2.4.2. Segmentación ósea a través de software 3D Slicer**

El software 3D SLICER; contribuye de manera significativa al proceso de segmentación al proporcionar una variedad de herramientas y funciones que ayudan en la delimitación precisa de estructuras anatómicas en imágenes médicas, entre ellas: herramientas de segmentación manual, capacidades de visualización y edición lo cual permite al usuario interactuar con el modelo 3D de estructuras segmentadas, opciones de exportación en diversos formatos una vez completada la segmentación para análisis o impresión 3D (Arguello & Gonzalez, 2019).

El proceso de segmentación utilizando 3D Slider generalmente lleva los siguientes pasos:

A. Preparación de las imágenes: es el primer paso en la segmentación, que implica cargar las imágenes médicas en el software, visualizar la región de interés y recortar las áreas no deseadas

B. Ajuste de contraste : esto se realiza para permitir una mejor visualización de las estructuras de interés; también se puede seleccionar el tipo de análisis a realizar como óseo, cerebral, torácico etc.

C. Segmentación manual: en este punto se realizan ajustes manuales y correcciones para garantizar la precisión de los resultados; incluye técnicas como la umbralización y el crecimiento de región, es fundamental para delimitar las estructuras de interés,

D. Refinamiento y corrección: garantizan la exactitud de los resultados segmentados

E. Exportación de resultados: una vez completada la segmentación, se exportan los modelos en formatos adecuados para análisis posteriores o aplicaciones clínicas

La segmentación de imágenes médicas mediante 3D Slicer es una herramienta poderosa y versátil que desempeña un papel crucial en diversas áreas de la atención médica. Su aplicación precisa y detallada permite a los profesionales de la salud y a los investigadores obtener información valiosa a partir de imágenes médicas, lo que contribuye significativamente a la mejora de los diagnósticos, tratamientos y resultados clínicos en el campo de la salud (Arguello & Gonzalez 2019).

### **2.4.3. Impresión 3D y estereolitografía**

El mérito de ser el padre de la CAM-AI se le atribuye al Dr. Patrick J. Hanratty; en 1957; durante su tiempo en General Electric desarrolló un software llamado PRONTO, el cual fue el primer sistema comercial de programación de control numérico por computadora. El primer

software CAD llamado Sketchpad, fue desarrollado por el Dr. Ivan Sutherland durante su doctorado en el MIT en 1964 . Su importancia marcó el primer hito de un usuario que interactúa con éxito con una computadora para diseñar objetos utilizando una construcción gráfica. El impacto de los descubrimientos de Hanratty y Sutherland formó las bases de lo que hoy se conoce como tecnología CAD/CAM (Crook, 2020).

La aplicación del diseño asistido por computadora (CAD) y la fabricación asistida por computadora (CAM) en odontología ha ido progresando en las últimas décadas; pues anteriormente el proceso CAM era sinónimo del proceso de fabricación sustractivo, en este proceso, se creaba un objeto a partir de una pieza en bruto mediante fresado, rectificado, taladrado, torneado y pulido utilizando herramientas específicas. Esta técnica sustractiva tenía una limitación en cuanto al número de objetos que podía producir por operación de mecanizado, y no era capaz de reproducir geometrías más complejas. Con el tiempo, se han ido desarrollando procesos alternativos como los procesos de fabricación aditiva. Estos procedimientos de fabricación aditiva se crean de diferente manera, es decir; el objeto físico a crear se construye mediante la aplicación secuencial de finas capas de material, sobre un diseño tridimensional previo. El resultado del proceso aditivo o generativo es lo que llamamos “impresión 3D”. A diferencia de los métodos sustractivos, los procesos aditivos pueden ahorrar material y producir geometrías más complejas (Kessler et al., 2020).

Con el desarrollo de los programas CAD, a partir de 1980 se llevaron a cabo los primeros experimentos en lo que respecta al área de la impresión 3D. El inventor de la impresora 3D, Chuck Hull, pasó a la historia en 1986 con su solicitud de patente para la impresión estereolitográfica (Kessler et al., 2020).

Las tecnologías de impresión 3D actuales incluyen estereolitografía, procesamiento de luz digital, modelado por deposición fundida, sinterización o fusión selectiva por láser, inyección de fotopolímeros, aglutinante en polvo y bioimpresión láser 3D y las principales categorías de materiales de impresión 3D son los polímeros, los metales y la cerámica y el material más utilizado en la tecnología de impresión 3D es la resina fotopolimerizable (Crook, 2020).

#### **2.4.4. Impresión tridimensional en la práctica clínica**

El origen práctico de la impresión 3D se remonta al grupo de Thomas Boland en la Universidad de Clemson con el desarrollo de la primera bioimpresora a principios de la década de 2000. En 2007 la primera empresa de bioimpresión 3D, conocida como Organovo, buscaba desarrollar y comercializar modelos de tejidos para la detección de fármacos y el modelado de enfermedades. Alternativamente, otras empresas han comercializado otros métodos de bioimpresión, como la deposición asistida por láser, comercializada por Poietis, que se centra en la ingeniería de imitaciones de tejidos de la piel. Si bien los sistemas de bioimpresoras estuvieron rápidamente disponibles comercialmente después de su desarrollo inicial, su adopción fue limitada en gran medida a entidades comerciales como compañías farmacéuticas. La investigación sobre bioimpresión fomentó una nueva industria de impresoras asequibles y de bajo costo que fueron desarrolladas y perfeccionadas por diversos investigadores (Crook, 2020).

#### **2.4.5. Modelo estereolitográfico**

La estereolitografía tiene sus orígenes en los sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD), los cuales como mencionamos anteriormente; son programas de cómputo que ayudan con los procesos de diseño. Aunque el primer programa de sistemas CAD tiene origen en 1963 en EUA

creado por Ivan Sutherland, fue en 1982 cuando se consolidó el uso de diseño asistido por computadora fundado por Autodesk con iniciativa de Jhon Walker. En 1986, Charles Hull aplicó un nuevo concepto a la creación de objetos 3D, su método, que identificó como estereolitografía, consistía en el desarrollo de estructuras sólidas en 3D mediante la estratificación progresiva de materiales fusionados entre sí mediante luz ultravioleta. Este método ahora se conoce generalmente como fabricación aditiva; distinguiéndose de los métodos de mecanizado convencionales que implican procesos sustractivos. Así; la estereolitografía consiste en la realización de estructuras, prototipos o modelos físicos sólidos en tres dimensiones, de tamaño real o a escala, de alta precisión y exactitud, basados en la construcción con fotopolímeros con tecnología láser y sistemas de diseño y elaboración asistidos por computadora (CAD/CAM) el cual se ha aplicado en Odontología a partir de la década de 1990 (Crook, 2020).

Los modelos estereolitográficos pueden ser satisfactoriamente usados en el periodo preoperatorio para mejorar la predictibilidad del tratamiento de defectos maxilofaciales traumáticos o patológicos. De esta forma se puede proporcionar al paciente un diagnóstico, plan de tratamiento y pronóstico más precisos; al obtener los modelos anatómicos (Chow & Cheung, 2007).

## **2.5. Utilización de modelos estereolitográfico para educación en salud**

La creación de prototipos mediante impresión 3D es una actividad en rápida expansión. Tecnología que ahora es una parte crítica del proceso de diseño iterativo en ingeniería, produciendo modelos físicos de forma rápida y sencilla, y de forma económica a partir del diseño asistido por ordenador (CAD). La fabricación aditiva o impresión 3D a menudo se promociona como uno de los avances tecnológicos más importantes de nuestra era moderna. En el ámbito médico y sanitario,

la impresión 3D fue identificada como una tecnología muy prometedora en 1997 y ha tenido un impacto en el ámbito de la cirugía facial y cirugía ortopédica (Mcmenamin et al., 2014).

Para los fines académicos relacionados con la Odontología, permitiría una mejor comunicación profesor-estudiante, donde se pasaría de modelos de estudio creados en yeso, a modelos 3D, disminuyendo así el riesgo de fractura, permitiría también enseñar de una manera más gráfica variaciones anatómicas maxilofaciales, y brindaría la posibilidad de respaldar los archivos STL en caso de requerir su nueva impresión (Oviedo-Quirós et al., 2020).

A pesar de los beneficios anteriores y otros muchos que brindan estas tecnologías, el aprovechamiento en la Odontología podría ser mayor, pero se ve limitado por la poca capacitación de los profesionales en el área y por el costo de los equipos y materiales creados específicamente para esta disciplina, aunque existen otros que no son exclusivos de esta área, pero que pueden utilizarse, con muy buenos resultados (Oviedo-Quirós et al., 2020).

## **2.6. Validación del instrumento**

La validación en el diseño de instrumentos de medición es de suma importancia porque garantiza la fiabilidad de los resultados obtenidos a través de dichos instrumentos, es fundamental que un instrumento de medición sea tanto confiable como válido para que los resultados obtenidos sean precisos y útiles en la investigación científica. La confiabilidad se refiere a la capacidad de un instrumento para producir resultados consistentes en diferentes momentos y condiciones. Por otro lado, la validez se refiere a si el instrumento realmente mide lo que pretende medir, es decir, si las inferencias y conclusiones derivadas de su uso son apropiadas y significativas; es esencial para garantizar la calidad y la utilidad de los datos recopilados, así como para respaldar las

conclusiones y decisiones basadas en dichos datos en el ámbito de la investigación científica (Rodríguez, 2015).

Las fases típicas de un proceso de validación de un instrumento son:

- Fase inicial; donde se deben establecer las bases teóricas del instrumento y se definen claramente los objetivos de la investigación. Es fundamental tener una comprensión sólida de los conceptos que se pretenden medir.
- Evaluación por expertos: el instrumento pasa por una evaluación de expertos en el campo relevante. Estos jueces proporcionan retroalimentación sobre la claridad, relevancia y adecuación de los ítems del instrumento, lo que contribuye a su mejora y refinamiento
- Muestra para prueba piloto: se elige una muestra representativa de la población objetivo. Se administra el instrumento a esta muestra con el fin evaluar la comprensión de los ítems y recopilar datos para el análisis de la validez y confiabilidad
- Proceso para la validación psicométrica: En esta última etapa, se realizan análisis psicométricos detallados para evaluar la confiabilidad y validez del instrumento. Se utilizan técnicas estadísticas para examinar la consistencia interna, la estructura factorial, la validez de contenido, la validez de criterio y otras propiedades psicométricas del instrumento (Rodríguez, 2015).

Cada instrumento tiene diferentes atributos a evaluar; entre los que destacan: La relevancia: Grado de importancia y esencialidad de los ítems para evaluar el desempeño del profesional. La Representatividad: Grado en que los ítems representan la dimensión que están midiendo. La Claridad: Grado en que la redacción de los ítems es clara y comprensible para los evaluadores (Martínez-Rincon et al., 2022).

Se debe considerar también: la validez de Contenido; esta se refiere a la medida en que el instrumento evalúa de manera adecuada y completa el dominio que se pretende medir, basándose en la opinión de expertos y en la definición clara del contenido a evaluar. La Validez de Criterio; se relaciona con la capacidad del instrumento para predecir o correlacionarse con otras medidas o criterios externos que evalúan lo mismo, estableciendo así la validez de las inferencias realizadas a partir de los resultados del instrumento y la validez de Constructo la cual se refiere a la medida en que el instrumento mide el constructo teórico que se pretende evaluar, basándose en la consistencia con teorías previas o en la capacidad de distinguir entre diferentes constructos relacionados (Moreno et al., 2024).

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

Diseñar y validar un modelo estereolitográfico desarrollado a partir de la segmentación de archivos DICOM diseñado para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar vía transcrestal y ventana lateral; implementado por los residentes de periodoncia en el segundo año del 2024 en la Universidad Santo Tomás.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Describir las especificaciones técnicas del modelo en términos del proceso de diseño y manufactura, y las características físicas.
- Analizar la valoración de los atributos de validación del modelo de acuerdo con las técnicas de vía transcrestal y ventana lateral por parte de los expertos.

- Detallar la experiencia de uso del modelo en su versión final en la práctica preclínica por parte de residentes de periodoncia.

## **4. Materiales y métodos**

### **4.1. Tipo de estudio**

Se llevo a cabo un estudio de evaluación de pruebas diagnósticas para validar un modelo estereolitográfico desarrollado mediante la segmentación de archivos DICOM, evaluando sus propiedades psicométricas, centrándose en la validez y confiabilidad. Para la validez, se examino la validez de contenido y de criterio; comparando los resultados del modelo con estándares aceptados en la elevación de seno maxilar. En cuanto a la confiabilidad, se evaluo la consistencia interna del modelo y su reproducibilidad en diferentes condiciones y entre evaluadores (Gómez et al., 2012).

### **4.2. Población**

El presente estudio se centra en la evaluación realizada por jueces expertos, conformada por docentes especializados en periodoncia, cirugía oral o maxilofacial que actualmente laboren en la Universidad Santo Tomás. En total, se cuenta con una lista de 18 especialistas elegibles con experiencia en técnicas de elevación de seno paranasal; además se tuvieron dentro de la población objeto del estudio los 10 residentes de periodoncia de la cohorte XI y los 12 residentes de la cohorte XII de la Universidad Santo Tomás sede Bucaramanga.

### 4.3. Muestra y muestreo

Para calcular el tamaño de la muestra definitiva, se empleó una proporción esperada del 90% de expertos que concuerdan con cada elemento evaluado y un margen de error del 15%, utilizando la fórmula estándar  $n = Z\alpha^2 \cdot P(1-P)/e^2$  (López et al., 2012). En consecuencia, la muestra final estimada consta de 15 especialistas. Se realizó un muestreo de tipo no probabilístico por conveniencia, seleccionando a los participantes de acuerdo con los criterios establecidos.

No obstante, para la prueba piloto no se aplicó la fórmula de cálculo muestral. En esta fase se escogieron 3 expertos en cirugía de elevación de piso de seno maxilar, mediante muestreo por conveniencia, con el fin de realizar una validación preliminar del modelo estereolitográfico y del instrumento de medición, lo que permitió identificar posibles ajustes antes de la aplicación definitiva.

### 4.4. Criterios de selección

#### 4.4.1 Criterios de inclusión

- Para el grupo de expertos:
- Experiencia autoreportada de al menos 5 años en cirugía de elevación de seno maxilar.
- Trayectoria de 5 años en práctica clínica y docencia.
- Especialización en cirugía oral, periodoncia o maxilofacial.
- Para el grupo de residentes:
- Pertenencia a la cohorte XI y XII de periodoncia.

#### **4.4.2 Criterios de exclusión**

Para el grupo de expertos:

- Especialistas que no estén laborando en la Universidad Santo Tomás.

Para el grupo de residentes:

- Residentes que no desean participar en el estudio.

#### **4.5. Variables**

En este estudio se incluyeron variables como edad, sexo, formación académica, años de experiencia en cirugía de elevación de seno maxilar, años de experiencia en docencia, material del modelo esterolitográfico, durabilidad del material, similitud a las condiciones reales del seno maxilar, facilidad de uso del modelo, utilidad percibida para la práctica preclínica, percepción del aumento de conocimientos, nivel de confianza en la aplicación práctica y aplicación exitosa de habilidades adquiridas en situaciones reales (Apéndice A).

#### **4.6. Instrumento**

Se realizó una encuesta física para la validación del modelo, a un grupo de expertos y dos grupos de estudiantes. El cual se fraccionó en dos aparatos, el primero correspondió a datos sociodemográficos de los jueces expertos y estudiantes. El segundo, constó de 10 preguntas para que los participantes pudieran valorar el modelo estereolitográfico de manera física. Las respuestas fueron afirmaciones tipo con 5 opciones: 1) inaceptable, 2) deficiente, 3) regular 4) bueno 5) excelente. Los aspectos para evaluados comprendieron la metodología del aprendizaje, la

versatilidad del modelo, la aplicabilidad en la práctica clínica, color, textura y reproducibilidad del modelo, el enriquecimiento del conocimiento en los estudiantes, y si cumple con las expectativas de cada jurado (Apéndice B).

#### **4.7. Procedimiento**

El proceso de diseño y manufactura del modelo estereolitográfico se llevó a cabo siguiendo un flujo de trabajo digital, con el objetivo de replicar la anatomía del seno maxilar para la práctica preclínica.

El punto de partida fue un archivo DICOM de un caso clínico real. Para asegurar la disponibilidad de datos con licencias libres, se exploraron la base The Cancer Imaging Archive (TCIA), la cual ofrece acceso a una gran cantidad de datos de tomografía computarizada (TC) en formato DICOM con licencias de Creative Commons (CC BY). De esta plataforma, se descargó un conjunto de imágenes DICOM de la región maxilofacial.

La segmentación inicial se realizó utilizando el software Blue Sky Plan v4.11. Durante este proceso, se utilizó la herramienta de segmentación automática del maxilar disponible en el software. Esta función automatizada permitió las estructuras óseas y el contorno del seno maxilar, para con ello lograr la fidelidad anatómica del modelo.

Una vez obtenida la segmentación inicial, el modelo 3D fue exportado en formato STL e importado en el software Blender (v4.1) para su alistamiento y modificaciones específicas. Inicialmente, se trabajó con un único modelo del maxilar, el cual fue modificado en espejo para generar un lado derecho y un lado izquierdo que permitieran la práctica de ambas técnicas de elevación de seno maxilar: ventana lateral y transcrestal. El modelo fue diseñado como una estructura completamente rígida y maciza, sin discriminar entre hueso cortical y medular.

Para la simulación de la membrana sinusal, se creó un contramolde calibrado a 1 mm.

Una vez finalizado el diseño y las modificaciones en Blender, el modelo 3D fue laminado y preparado para la impresión utilizando el software Chitubox Pro (v2.0.0)

En primer lugar, se realizó la calibración de la resina "Anycubic Clear Plant Based" en la impresora Phrozen Mighty 4K para asegurar una adhesión y curado óptimos. Se adaptaron los parámetros de impresión, estableciendo una altura de capa de 0.05 mm para lograr una alta resolución en los detalles anatómicos. La velocidad de elevación de la plataforma se configuró en 60 mm/min y el tiempo de exposición por capa en 2.5 segundos, buscando un equilibrio entre la fidelidad y la eficiencia de impresión. Se organizaron tres modelos en la cama de impresión, maximizando el espacio disponible por tanda. Para garantizar la integridad estructural durante el proceso, se agregaron los soportes necesarios, calibrados para una fácil remoción post-impresión sin comprometer la superficie del modelo.

El tiempo total de impresión para los tres modelos fue de 58 minutos y 17 segundos. El consumo estimado de resina para esta tanda de tres modelos fue de aproximadamente 75 ml, lo que resultó en un peso de alrededor de 80 gramos por modelo ya curado. Este proceso se replicó en las diferentes tandas de impresión necesarias para obtener el número total de modelos requeridos para el estudio.

Una vez impresa, la pieza fue lavada con alcohol isopropílico para eliminar el exceso de resina no curada, y posteriormente curada en una estación Elegoo Mercury Wash and Cure bajo luz UV para alcanzar su dureza final. El ensamblaje final del prototipo inicial incluyó la integración de la membrana sinusal, que se creó a partir de silicona de marca Silka vertida en un contramolde calibrado a 1 mm de grosor. La silicona se prensó para asegurar una distribución homogénea y obtener una capa delgada y elástica, buscando simular el comportamiento de la membrana de

Schneider real durante la manipulación y los procedimientos quirúrgicos. En esta primera versión del prototipo, la silicona se mantuvo en su color blanco original, lo que más tarde se identificaría como un punto de mejora.

Una vez creado el prototipo, se solicitó por escrito la participación de cada experto. Una vez obtenidas sus autorizaciones a través de un consentimiento informado, se reunió a este grupo en las clínicas odontológicas de la Universidad Santo Tomás ubicadas en el Centro Internacional de Especialistas (CIE) y se les proporcionó una ficha técnica detallada del modelo a validar. Esta ficha incluyó información sobre el programa utilizado para su diseño, el material de construcción, sus dimensiones y otras especificaciones relevantes.

#### **4.7.1. Prueba Piloto**

Se les entregó un modelo físico y una encuesta (ver Apéndice B) con preguntas específicas que evaluaban su percepción sobre la utilidad del modelo estereolitográfico a cada uno de los expertos. La dinámica consistió en que cada experto, utilizando su modelo, realizara la técnica de elevación de seno ventana lateral y la técnica transcrestal, cada una en una hemiarcada del modelo, empleando el instrumental indicado para cada técnica.

Una vez realizada la práctica, cada experto diligenció la encuesta, cuyos hallazgos y retroalimentación fueron base en la identificación de deficiencias en el prototipo inicial. El análisis de esta evaluación reveló una dualidad crítica: aunque el modelo fue valorado positivamente en su apariencia y tamaño anatómico general, arrojó deficiencias funcionales que lo hacían inviable para una de las técnicas. Los expertos señalaron la falta de fidelidad táctil del hueso, indicando que al fresar "no se siente un vacío al romper la cortical" y que "el modelo es un poco más duro que el

hueso normal". Otro punto de consenso fue el irrealismo de la membrana sinusal, descrita unánimemente como inadecuada; se comentó que el "material que asemeja la membrana es muy cauchoso" y que "como el material es blanco no se distingue bien". Estas fallas en el material y la densidad se tradujeron en una baja viabilidad para la práctica quirúrgica, especialmente para la técnica crestal, donde la "dureza para fresado" impedía "llevar el implante". Adicionalmente, los expertos sugirieron la inclusión de guías bidimensionales (cortes 2D) para enriquecer la experiencia de aprendizaje.

Estos resultados proporcionaron una hoja de ruta clara para el rediseño del modelo, buscando que este cumpliera con la capacidad de realizar las dos técnicas propuestas. Se implementaron mejoras específicas: se rediseñó el modelo en Blender para lograr una simulación ósea diferenciada, estableciendo una parte cortical externa de 1.5 mm de grosor y aplicando un relleno (infill) del 70% al interior para simular la diferencia de densidades y obtener una sensación de fresado más realista. En cuanto a la membrana, se comenzó a

teñir la silicona Silka con un colorante a base de alcohol para lograr el color rosa, y se ajustó la técnica de prensado para obtener una capa más homogénea, delgada y elástica. Además, se acogió la recomendación de los expertos, integrando al paquete de aprendizaje la entrega de imágenes impresas con los cortes 2D del caso. La integración de estas observaciones en el diseño permitió avanzar hacia un modelo estereolitográfico perfeccionado, capaz de replicar de manera más fiel las condiciones anatómicas y funcionales requeridas.

#### **4.7.2. Aplicación del instrumento y uso de modelos estereolitográficos**

Completada esta etapa con los expertos y teniendo los nuevos modelos estereolitográficos listos, se procedió a realizar primero una práctica preclínica de cirugía de elevación de seno maxilar técnica ventana lateral con los estudiantes de tercer semestre de periodoncia, bajo la supervisión de un experto. En esta práctica se les entregó a cada estudiante un paquete físico que contenía consentimiento informado, ficha técnica del modelo y el instrumento de evaluación; el experto que acompañó la práctica explicó el paso a paso de la técnica a realizar, y cada estudiante procedió a realizarla, una vez terminada la práctica cada uno diligenció el instrumento para identificar su percepción sobre la utilidad del modelo.

En una segunda fecha se realizó otra práctica preclínica con siete estudiantes de quinto semestre de periodoncia en la que se le evaluó la técnica de elevación de seno transcrestal, en esta práctica preclínica nos acompañó un experto y una casa comercial que prestó las bandejas de implantes. El manejo de la preclínica fue igual a la que se realizó con los estudiantes de tercer semestre, se explicó la ficha técnica, se dio el paso a paso de la técnica a realizar y cada estudiante realizó la técnica en un modelo, posterior a esto, diligenciaron el instrumento de evaluación.

La evaluación final del modelo se basó en los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a ambos grupos, expertos y estudiantes; realizando una validación con una consistencia interna por alfa de Cronbach y un análisis discriminativo con cada uno de los ítems. Posteriormente se realizó un análisis para determinar las características aceptables para la replicación de los modelos en próximas preclínicas.

#### **4.8. Plan de análisis**

El análisis estadístico de los datos recopilados se llevó a cabo de manera rigurosa para cumplir con los objetivos del estudio, centrándose en la validación y confiabilidad del modelo estereolitográfico y el instrumento de evaluación. Todos los cálculos y procedimientos estadísticos fueron ejecutados utilizando el software de código abierto JASP.

##### **4.8.1. Plan de análisis del objetivo específico 1**

Para el primer objetivo, "Describir las especificaciones técnicas del modelo en términos del proceso de diseño y manufactura, y las características físicas", se detalló el desarrollo de la técnica del modelo estereolitográfico mediante la segmentación de archivos DICOM y su posterior manufactura aditiva. Esto incluyó la descripción de los softwares utilizados (Blue Sky Plan v4.11 , Blender v4.1 , Chitubox Pro v2.0.0 ) y sus versiones, los parámetros de impresión (altura de capa de 0.05 mm, velocidad de elevación de 60 mm/min, tiempo de exposición por capa de 2.5 segundos), el consumo estimado de resina (aproximadamente 75 ml para tres modelos) y el peso aproximado de los modelos curados (alrededor de 80 gramos por modelo). Se describieron las características físicas del prototipo inicial, incluyendo la estructura ósea maciza y la membrana sinusal de silicona blanca y las modificaciones que se hicieron para dar respuesta a las solicitudes de los expertos.

##### **4.8.2. Plan de análisis del objetivo específico 2**

Para dar cumplimiento con el objetivo 2, "Analizar la valoración de los atributos de validación del modelo de acuerdo con las técnicas de vía transcrestal y ventana lateral por parte de los expertos", y considerando que las respuestas de la encuesta fueron recolectadas mediante una escala de 1 a 5,

se realizó un análisis de fiabilidad de la consistencia interna del instrumento de evaluación. Se utilizó el coeficiente Alfa de Cronbach para cada grupo de manera independiente

#### **4.8.3. Plan de análisis del objetivo específico 3**

Para el objetivo 3, "Detallar la experiencia de uso del modelo en la práctica preclínica por parte de residentes de periodoncia", se realizó un análisis de fiabilidad para evaluar la consistencia interna del instrumento de evaluación entre los residentes. Se calculó el coeficiente Alfa de Cronbach para cada grupo la técnica transcrestal (evaluada por los residentes de quinto semestre) y la técnica de ventana lateral (evaluada por los residentes de tercer semestre). Para esto, se aplicó un método de exclusión de datos por caso (*listwise deletion*) para manejar los valores no diligenciados, asegurando la validez del análisis de fiabilidad. El análisis de fiabilidad se consolidó sobre un instrumento de 9 ítems para cada grupo, con el fin de asegurar una consistencia interna adecuada. Complementariamente, se analizaron las puntuaciones obtenidas en la escala de los 9 ítems del instrumento de evaluación, tal como fueron diligenciadas por los residentes. Finalmente, se realizó un análisis de las respuestas proporcionadas en la casilla de "Comentarios y Observaciones adicionales" para realizar un análisis temático e identificar patrones, ideas recurrentes, sugerencias y conceptos clave que emergieron de sus experiencias. Estos hallazgos fueron agrupados y sintetizados para describir las características del modelo que fueron más valoradas, las que requirieron mejoras, y la utilidad percibida en la práctica preclínica.

#### **4.9. Consideraciones éticas**

Este trabajo se realizará según las reglas de la Resolución 8430 de 1993, que establece normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Según su artículo 11,

esta investigación se clasificará como "sin riesgo" ya que es un estudio prospectivo con una intervención educativa para validar el modelo estereolitográfico y mejorar las habilidades de los estudiantes en la cirugía de elevación del seno maxilar.

Se garantizará la protección de los derechos de los participantes y la confidencialidad de la información, conforme a las siguientes normativas:

- Ley Estatutaria 1581 del 17 de octubre de 2012 del Congreso de la República de Colombia, que dicta disposiciones generales para la protección de datos personales.

Para minimizar los riesgos de mal manejo o divulgación de información confidencial, se implementarán medidas específicas durante el diseño y recolección de datos. No se recopilará información de identificación personal.

#### Principios Éticos

Este proyecto se regirá por los principios éticos de beneficencia, justicia y respeto, en concordancia con los Derechos Humanos (DIDH).

- Beneficencia: Se garantizará la beneficencia mediante la aceptación voluntaria de los participantes, quienes estarán informados sobre los riesgos potenciales. La naturaleza de esta investigación minimizará cualquier riesgo físico.

- Justicia: El modelo estereolitográfico será de carácter didáctico y formativo, accesible a estudiantes y docentes. Se esperará que mejore las habilidades y conocimientos en la cirugía de elevación de seno maxilar.

- Respeto: Se garantizará el respeto a los participantes, tratándolos como agentes autónomos y asegurando su dignidad y derechos en todo momento.

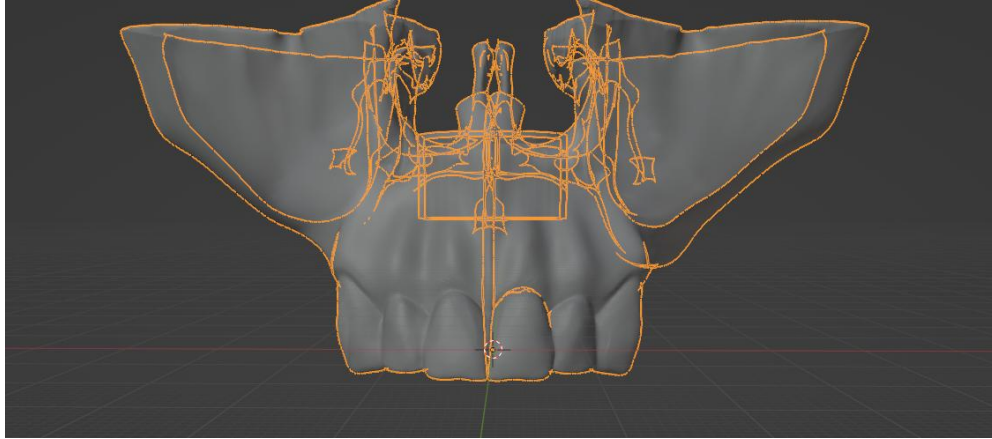
## 5. Resultados

### 5.1 Descripción de las especificaciones técnicas del modelo en términos del proceso de diseño y manufactura, y las características físicas.

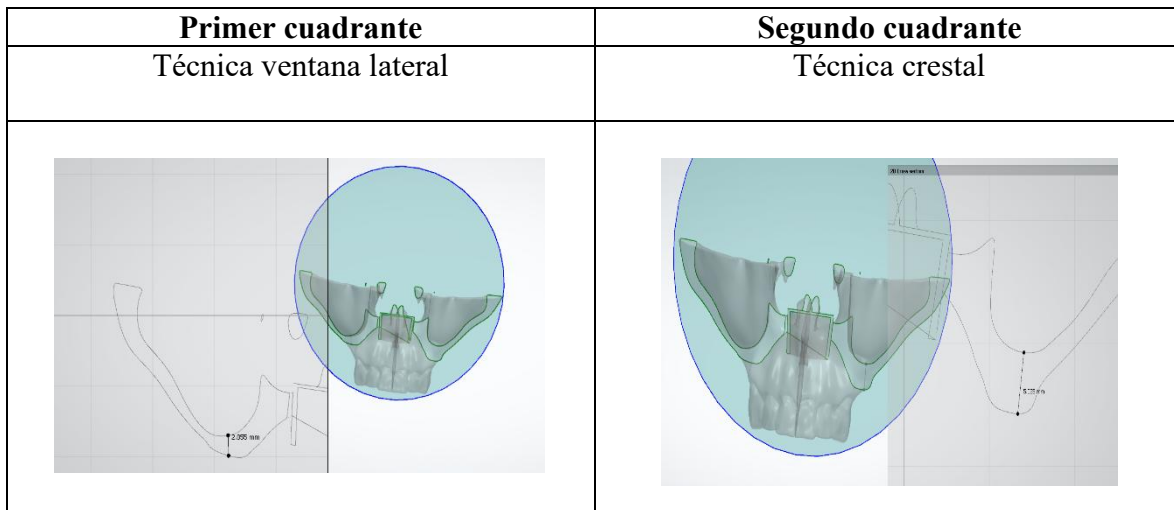
El desarrollo del modelo estereolitográfico se inició con la adquisición de archivos DICOM de un caso clínico real, obtenidos de la plataforma The Cancer Imaging Archive (TCIA) bajo licencias Creative Commons (CC BY). Estos archivos fueron importados en Blue Sky Plan v4.11, donde se utilizó la herramienta de segmentación automática del maxilar. Esta herramienta opera mediante algoritmos de procesamiento de imágenes que analizan los valores de densidad presentes en los datos DICOM. El software identifica umbrales de densidad específicos para el tejido óseo, permitiendo una diferenciación de las estructuras anatómicas. A través de este procesamiento, la herramienta delimita automáticamente la geometría, el tamaño y la densidad ósea del maxilar.

El modelo 3D segmentado fue exportado en formato STL e importado en Blender v4.1 para su alistamiento y modificaciones detalladas. En esta interfaz de diseño asistido por computadora (CAD), se realizó una verificación y optimización de la malla poligonal para asegurar la integridad geométrica y reducir la complejidad sin perder fidelidad anatómica (Ver anexo D) (Ver figura 1).

**Figura 1.** *Modelo estereolitográfico desarrollado*



Inicialmente, se partió de un único modelo maxilar que fue sometido a una modificación en espejo mediante la aplicación del modificador "Mirror" en Blender. Este modificador permitió generar las hemiarquadas derecha e izquierda simétricamente a partir de una mitad, duplicando la estructura y facilitando la inclusión de escenarios para ambas técnicas de elevación de seno maxilar (ventana lateral y transcrestal) en un solo prototipo, optimizando así el uso del material y el tiempo de impresión. En esta fase de diseño inicial, el prototipo fue concebido como una estructura completamente rígida y maciza, sin diferenciación interna de densidades óseas. Adicionalmente, se diseñaron los dos escenarios clínicos específicos para la práctica. Para el lado derecho, se mantuvo una altura ósea de 2 mm, adecuada para la técnica de ventana lateral, y se utilizó las herramientas de escultura y modelado disponibles en las opciones de Edit Mode y Sculpt Mode de Blender para refinar la morfología. Para el lado izquierdo, se modificó la altura ósea a 5 mm para la técnica transcrestal, empleando las mismas herramientas de escultura y modelado para lograr la configuración deseada (Ver figura 2).

**Figura 2.** Fichas de cortes 2D de estereolitográfico desarrollado

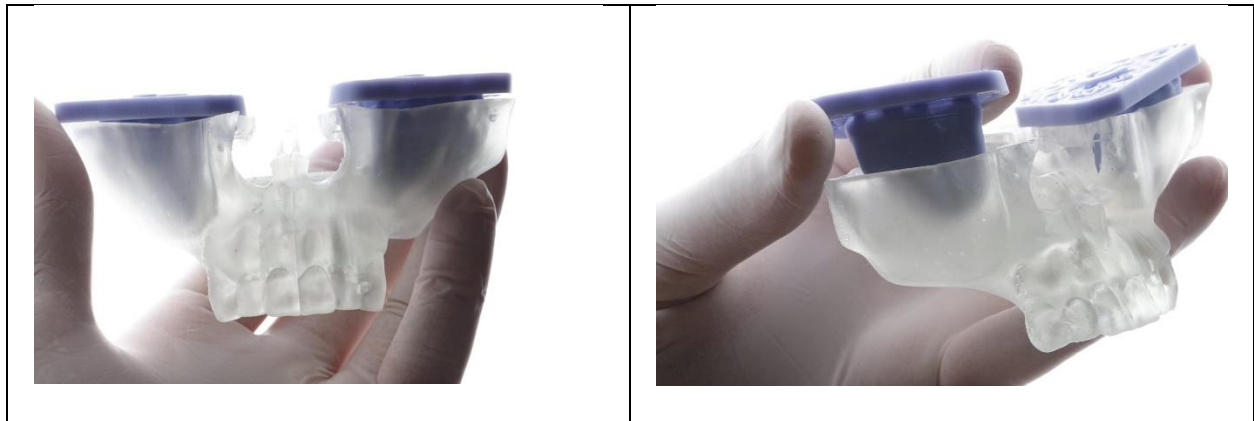
Paralelamente, se diseñó un contramolde calibrado a 1 mm para la membrana sinusal. Este componente se obtuvo directamente del modelo maxilar mediante la aplicación de operadores booleanos (específicamente, una operación de "Difference") en Blender, lo que aseguró un ajuste preciso y anatómico con la cavidad del seno, y fue escalado en -1 mm para lograr el espacio deseado para la silicona.

Una vez finalizado el diseño y las modificaciones en Blender, el modelo 3D fue laminado y preparado para la impresión utilizando el software Chitubox Pro v2.0.0 (última versión profesional). Este proceso de alistamiento fue importante para optimizar la manufactura aditiva y garantizar la precisión de los modelos.

En primer lugar, se realizó la calibración de la resina "Anycubic Clear Plant Based" en la impresora Phrozen Mighty 4K para asegurar una adhesión y curado óptimos. La elección de la resina "Anycubic Clear Plant Based" no solo se basó en sus propiedades técnicas, sino también en consideraciones de sostenibilidad, ya que, al provenir de fuentes renovables, reduce la dependencia del petróleo, emite menos compuestos volátiles y tiene una menor huella de carbono en

comparación con las resinas sintéticas convencionales. Se adaptaron los parámetros de impresión, estableciendo una altura de capa de 0.05 mm para lograr una alta resolución en los detalles anatómicos y la fidelidad de las estructuras más finas. La velocidad de elevación de la plataforma se configuró en 60 mm/min y el tiempo de exposición por capa en 2.5 segundos, buscando un equilibrio preciso entre la fidelidad del detalle y la eficiencia del proceso de curado (Ver figura 2).

**Figura 3.** Registro fotográfico de impresiones de los modelos estereolitográficos



Para optimizar el aprovechamiento de la cama de impresión y el tiempo de manufactura, se organizaron tres modelos por tanda, maximizando el espacio disponible en cada ciclo de impresión. Durante el proceso de *slicing*, se generaron los soportes necesarios, los cuales fueron calibrados para una fácil remoción post-impresión sin comprometer la superficie ni la integridad de los detalles anatómicos del modelo. La ubicación y densidad de estos soportes se determinó algorítmicamente en Chitubox Pro para minimizar deformaciones y asegurar la estabilidad de la pieza durante su construcción capa por capa.

El tiempo total de impresión para los tres modelos fue de 58 minutos y 17 segundos. El consumo estimado de resina para esta tanda fue de aproximadamente 75 ml, lo que resultó en un peso de

alrededor de 80 gramos por modelo ya curado. Este proceso se replicó en las diferentes tandas de impresión necesarias para obtener el número total de modelos requeridos para el estudio.

Una vez generado el prototipo físico inicial, este fue sometido a una evaluación con un panel de tres expertos en cirugía de elevación de seno maxilar. La valoración de este prototipo reveló deficiencias críticas que impidieron su viabilidad funcional para la simulación de una de las técnicas propuestas, aspectos que serán detallados con mayor profundidad en el siguiente apartado de resultados. Como parte de la retroalimentación cualitativa recibida, los expertos señalaron una marcada falta de fidelidad táctil del hueso, indicando que la sensación durante el fresado no replicaba las condiciones reales. Asimismo, la membrana sinusal, al ser de color blanco y presentar una textura "muy cauchosa", no ofrecía el realismo necesario y dificultaba significativamente la visibilidad durante el procedimiento. Adicionalmente, se recomendó la inclusión de guías bidimensionales (cortes 2D) para complementar el aprendizaje.

Con base en esta retroalimentación, se implementó un plan de mejora integral para optimizar el modelo. Para la fidelidad táctil durante el fresado, se realizaron modificaciones estructurales detalladas en el software Blender v4.1. Se rediseñó la anatomía ósea para incluir una parte cortical externa con un grosor de 1.5 mm y un relleno (infill) del 70% para simular la densidad del hueso medular. Estas modificaciones, logradas mediante operaciones de modelado y configuración de la geometría interna. En cuanto a la membrana sinusal, se implementaron dos mejoras significativas. La silicona de marca Silka, utilizada para la membrana, fue teñida con un colorante a base de alcohol para obtener un color rosa, lo que mejoró su visibilidad durante la simulación. Paralelamente, se recalibró y ajustó el contramolde previamente diseñado en Blender. Originalmente escalado a -1 mm para crear el espacio de la membrana, este contramolde fue reescalado a -0.5 mm y su geometría fue optimizada para asegurar una capa de membrana más

homogénea, delgada y elástica. Finalmente, para complementar el proceso de aprendizaje, se integraron imágenes impresas con los cortes 2D del caso, directamente derivadas de los archivos DICOM, atendiendo a la sugerencia explícita de los periodoncistas expertos Edwin Gallardo, Rosiris Giraldo y Claudia Amaya (Ver figura 3).

**Figura 4.** Registro fotográfico de modelos estereolitográficos desarrollados



## **5.2 Análisis de la valoración de los atributos de validación del modelo de acuerdo con las técnicas de vía transcrestal y ventana lateral por parte de los expertos.**

La evaluación del prototipo inicial del modelo estereolitográfico fue realizada por un panel de tres expertos en periodoncia, cirugía oral o maxilofacial, con experiencia autorreportada de al menos 5 años en cirugía de elevación de seno maxilar y 5 años de trayectoria en práctica clínica y docencia. El propósito de esta fase fue obtener una retroalimentación crítica sobre la viabilidad y el realismo del modelo antes de presentarla a sus usuarios finales. Cada experto realizó las técnicas de elevación de seno por ventana lateral y transcrestal en el modelo y diligenció un instrumento

de evaluación con escala de 5 puntos donde la calificación más baja se interpretaría como inaceptable y las más alta como excelente y un espacio para comentarios cualitativos.

### **5.2.1. Análisis de Fiabilidad de la Evaluación por Expertos**

Para evaluar la consistencia interna del instrumento de evaluación aplicado al panel de expertos en la fase de revisión por expertos, se calculó el coeficiente Alfa de Cronbach. Este análisis se realizó para dos agrupaciones distintas de ítems, con el objetivo de comprender la fiabilidad de la escala tanto en la valoración general del modelo como en su funcionalidad específica para las técnicas quirúrgicas.

Este primer cálculo incluyó la evaluación de los atributos generales y la utilidad pedagógica del modelo, incorporando también la valoración de la técnica de ventana lateral (ítems del 1 al 9). Para esta agrupación, se obtuvo un Alfa de Cronbach de aproximadamente 0.62.

La segunda configuración se centró exclusivamente en la consistencia de la evaluación de las dos técnicas quirúrgicas específicas: la técnica de ventana lateral (Ítem 10) y la técnica transcrestal (Ítem 11). Para estos dos ítems, el Alfa de Cronbach calculado fue de aproximadamente 0.52.

### **5.2.2. Valoración Unificada por los Expertos**

Al analizar la escala propuesta e interpretando sus datos en una escala ordinal y promediando las respuestas de los tres expertos, se obtuvo una visión general de la percepción inicial del modelo. A continuación, se presenta un resumen de los promedios y se complementa con los hallazgos cualitativos que guiaron el proceso de mejora:

**Tabla 1.** *Valoración unificada de modelos estereolitográficos realizados por los expertos*

<b>Aspecto a evaluar (Ítem)</b>	<b>Calificación</b>	<b>Comentarios Clave de Expertos</b>
1. ¿El modelo cumplió con los estándares en la metodología de aprendizaje?	4.0	"Pienso que es una excelente guía realizando los respectivos cambios"
2. ¿Considera que el modelo estereolitográfico es una ayuda educativa apropiada como guía para la práctica preclínica de cirugía de elevación de seno maxilar?	4.3	"el modelo debería tener establecidos los diámetros y longitudes de cresta ósea"
3. ¿Cree que el modelo podría ser reutilizado para otras prácticas?	2.0	"No se podría, ya que si se 'rellena' las osteotomías, no tendría la misma textura"
4. ¿Los colores usados en el modelo son acordes a los de la anatomía que se está evaluando?	4.3	"Tratar de imitar vascularización en la Membrana", "material que asemeja la membrana es muy cauchoso", "como el material es blanco no se distingue bien"
5. ¿La textura del modelo son acordes a la de la anatomía que se está evaluando?	3.0	"No es la misma sensación al tacto"
6. ¿El modelo cumple en apariencia con la anatomía que comprende el seno maxilar?	4.0	"Si cumple"

Aspecto a evaluar (Ítem)	Calificación	Comentarios Clave de Expertos
7. ¿El modelo cumple con sus expectativas personales con respecto a la práctica preclínica?	2.3	"parcialmente si pero la técnica transcrestal me queda faltando"
8. ¿Usaría este modelo para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar?	3.3	"Si realizando los cambios sugeridos", "con los cambios mencionados", "Muy buena herramienta, realizando los respectivos cambios"
9. ¿Considera acorde el tamaño del modelo para realizar la práctica de elevación de seno maxilar?	3.7	"Buen tamaño", "excelente"
10. Evalué la técnica ventana lateral realizada en el modelo	3.0	"la membrana muy cauchosa y se debe realizar mucha fuerza"
11. Evalué la técnica transcrestal, realizada en el modelo	1.7	"muy dura para fresado y no puede llevar el implante"

Nota: La tabla fue laborada tienen en cuenta reporte de los hallazgos realizados por los expertos.

Los expertos valoraron positivamente la concepción general del modelo como una herramienta educativa (promedios de 4.0 y 4.3). Sin embargo, la evaluación reveló deficiencias en la fidelidad

funcional y tisular del prototipo inicial, lo que lo hacía inviable para una práctica preclínica realista, especialmente para la técnica transcrestal (promedio de 1.7 en Ítem 11).

Las observaciones cualitativas fueron de suma importancia para identificar las áreas específicas de mejora:

- **Fidelidad Táctil del Hueso:** Un experto señaló que el "el modelo es un poco más duro que el hueso normal", y otro que "no se siente un vacío al romper la cortical". Estas percepciones indicaron una dureza irreal durante la osteotomía, lo que afectaba la simulación del fresado y la percepción de la fractura cortical.
- **Realismo de la Membrana Sinusal:** La membrana fue descrita unánimemente como inadecuada. Comentarios como "el material que asemeja la membrana es muy cauchoso" y "como el material es blanco no se distingue bien" resaltaron la necesidad de mejorar tanto la textura como la visibilidad.
- **Viabilidad para Técnicas Específicas:** La "dureza para fresado" impidió "llevar el implante" en la técnica crestal. Esto demostró que el modelo no permitía simular adecuadamente la instrumentación y las sensaciones clave de esta técnica.
- **Reusabilidad y Complementos:** Se indicó que el modelo no podría ser reutilizado fácilmente si las osteotomías se "rellenaran", y se sugirió la inclusión de guías bidimensionales (cortes 2D) para enriquecer el aprendizaje.

Estos hallazgos proporcionaron una hoja de ruta clara y precisa para el rediseño del modelo, guiando las modificaciones estructurales y de materiales para alcanzar una mayor fidelidad anatómica y funcional.

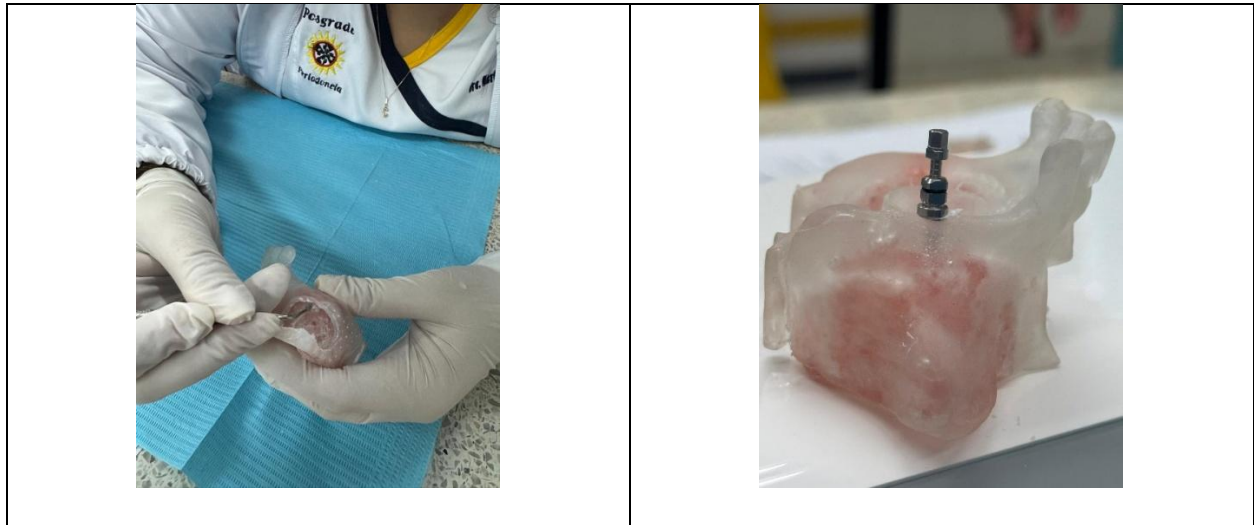
Ambos valores de Alfa de Cronbach, 0.62 y 0.52, sugieren una consistencia interna que, aunque no alcanza los niveles óptimos de fiabilidad (superiores a 0.70), podría considerarse cuestionable

a pobre. Un valor de 0.62 para la primera agrupación indica una relación moderada entre los ítems, que en contextos de investigación exploratoria y con muestras muy reducidas (n=3 expertos) a veces puede ser aceptado, pero no es ideal. El valor de 0.52 para la evaluación específica de las técnicas (ítems 10 y 11) denota una consistencia más débil. Es fundamental señalar que la fiabilidad del Alfa de Cronbach es sensible al número de ítems y al tamaño de la muestra; con solo 3 expertos, la variabilidad individual y las percepciones sobre un prototipo inicial imperfecto pueden influir significativamente en el resultado. A pesar de estos valores, la fiabilidad no invalidó esta etapa de la investigación, sino que, enfatizó la necesidad de las mejoras a realizar en el modelo. La rica retroalimentación cualitativa proporcionada por los expertos fue primordial para identificar las deficiencias y guiar la optimización del prototipo.

### **5.3 Detalle de las experiencias de uso del modelo en la práctica preclínica por parte de residentes de periodoncia.**

Tras el ciclo de rediseño basado en la retroalimentación de los expertos, el modelo estereolitográfico mejorado fue sometido a la fase final de validación. En esta etapa, el foco se centró en los usuarios finales del proceso de aprendizaje: los residentes de posgrado. Se procedió a recolectar y analizar su percepción sobre la utilidad pedagógica del prototipo final.

**Figura 4.** Registro fotográfico de experiencia de residentes utilizando modelos estereolitográficos



### **Tratamiento de Datos Faltantes**

Durante la recolección de datos, se identificaron casos con valores "0" que correspondían a respuestas no diligenciadas. Para garantizar la validez del análisis, se aplicó un método de exclusión (*listwise deletion* para el Alfa de Cronbach y exclusión por caso para los descriptivos), eliminando estos valores para no distorsionar las medias y varianzas.

Se calculó el coeficiente Alfa de Cronbach de forma independiente para cada grupo. Este coeficiente evalúa si los ítems de una escala miden de manera consistente el mismo constructo.

### **Fiabilidad para el Grupo Técnica Transcrestal (n=5)**

Tras excluir al participante con un dato faltante, el análisis se realizó con una muestra de n=5, el valor de Alfa de Cronbach para este grupo fue de 0.866, lo que indica una consistencia interna excelente.

### Fiabilidad para el Grupo Técnica Ventana Lateral (n=11)

Tras excluir al participante con un dato faltante, el análisis se realizó con una muestra de n=11, el valor de Alfa de Cronbach para este grupo fue de 0.970, lo que indica una consistencia interna excepcional.

### Análisis Descriptivo

Para definir el enfoque estadístico del estudio, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk a cada ítem del instrumento en los dos grupos de validación. Los resultados mostraron que, en la mayoría de los casos, los datos no seguían una distribución normal ( $p \leq 0.05$ ). Al ser el comportamiento no paramétrico la tendencia predominante, se decidió unificar el criterio y reportar los resultados descriptivos utilizando la mediana como medida de tendencia central y el RIC como medida de dispersión.

La percepción de los 6 residentes que evaluaron el modelo para la técnica transcresal fue consistentemente positiva. La calificación central (mediana) fue de 4.0 en 7 de los 9 ítems evaluados.

**Tabla 2.** Estadísticos Descriptivos - Técnica Transcresal

Descripción del Ítem	n	Mediana (P25 – P75)	Rango Intercuartílico
El modelo cumplió con los estándares en la metodología de aprendizaje.	6	3	3.0 – 4.0

El modelo estereolitográfico es una ayuda educativa apropiada como guía.	6	4	3.75 – 4.0
Los colores usados en el modelo son acordes a los de la anatomía.	5	4	4.0 – 4.0
Considera que esta práctica preclínica es didáctica para el aprendizaje.	6	4	3.75 – 4.0
El modelo es de fácil manipulación para la práctica requerida.	6	4	2.75 – 4.0
El modelo cumple con sus expectativas personales.	6	3	3.0 – 4.0
Usaría este modelo para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar.	6	4	3.0 – 4.0
Considera acorde la información sobre el modelo, otorgada en la ficha técnica.	6	4	3.0 – 4.0
Evalúe la técnica transcrestal.	6	4	4.0 – 4.0

Los resultados del grupo que evaluó la técnica de ventana lateral, conformado por 12 residentes, refuerzan la percepción marcadamente positiva del modelo. Como muestra la Tabla 2, la calificación central fue unánime, con una mediana de 4.0 en la totalidad de los ítems del instrumento.

**Tabla 3.** *Estadísticos Descriptivos - Técnica Ventana Lateral*

Descripción del Ítem	n	Mediana	Rango (P25 – P75)	Intercuartílico
El modelo cumplió con los estándares en la metodología de aprendizaje.	12	4	3.75 – 4.0	
El modelo estereolitográfico es una ayuda educativa apropiada como guía.	12	4	3.75 – 4.0	
Los colores usados en el modelo son acordes a los de la anatomía.	12	4	3.75 – 4.0	
Considera que esta práctica preclínica es didáctica para el aprendizaje.	12	4	4.0 – 4.0	
El modelo es de fácil manipulación para la práctica requerida.	12	4	3.0 – 4.0	
El modelo cumple con sus expectativas personales.	12	4	3.0 – 4.0	
Usaría este modelo para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar.	12	4	3.0 – 4.0	
Considera acorde la información sobre el modelo, otorgada en la ficha técnica.	12	4	3.75 – 4.0	

Evalúe la técnica ventana lateral.	11	4	4.0 – 4.0
------------------------------------	----	---	-----------

En conjunto, los resultados de la validación cuantitativa confirman el éxito del modelo estereolitográfico mejorado, lo cual fue respaldado por la excepcional fiabilidad que demostró el instrumento de evaluación. La percepción de los residentes fue marcadamente positiva, con una calificación representativa de 4.0 y un fuerte consenso en las valoraciones para ambas técnicas quirúrgicas. Este alto nivel de aprobación no solo valida la herramienta final como un recurso pedagógico pertinente y efectivo, sino que también legitima todo el proceso iterativo de diseño, revisión, aprendizaje y mejora que lo hizo posible.

El análisis de las respuestas de los residentes en la sección abierta de comentarios y observaciones esta sección reveló una percepción positiva. Los comentarios aquí presentados reflejan el éxito del proceso desde la mirada de quienes vivieron la experiencia de aprendizaje.

Del análisis de las observaciones de los residentes emergió un entusiasmo generalizado, centrado en tres aspectos clave. El primero y más importante fue el alto valor didáctico y el realismo del modelo. Los participantes consideraron que la herramienta cierra una brecha crucial en su formación, con comentarios como:

*"Ya que nos facilita a la realidad, en comparación a un huevo" y "Sí nos asemeja al paciente en realidad".* Esta percepción se vio reforzada por la conexión que hicieron con su base teórica, señalando que *"con la teoría que hemos visto es muy real"*.

En segundo lugar, destacaron la excelente usabilidad y manipulación del diseño, indicando que "el tamaño es perfecto para la mano".

Finalmente, la evaluación general fue contundente, con afirmaciones como *"Un excelente modelo"*, lo que confirma que, desde la perspectiva del residente, la herramienta cumple las expectativas para una práctica preclínica.

## 6. Discusión

La digitalización en las diferentes disciplinas del área de la salud está marcando un hito en la historia del aprendizaje, demostrándose cada vez más la importancia de estar en la vanguardia en el desarrollo tecnológico. Lo anterior secundario que el proceso de aprendizaje de odontología está utilizando metodologías como el uso de simuladores, que cuenta con una respuesta satisfactoria por parte de los estudiantes, puesto que combinan la realidad virtual y las clases teóricas para la mejora de habilidades motoras; también utilizando distintas herramientas como la realidad virtual mediante el uso de software y modelos de mandíbula, que tuvieron resultados bastante favorables en China y Alemania en revisión que tuvo como objetivo describir la digitalización en la formación odontológica, las herramientas tecnológicas empleadas y la percepción de los estudiantes frente a la educación digital (Escobar et al., 2023).

Igualmente, el avance de los modelos de visualización tridimensional no es exclusivamente en la rama de odontología, sino que también se está utilizando para la simulación de toda la anatomía humana aumentando la satisfacción y el goce en el aprendizaje por lo diferentes estudiantes de carreras tanto de pregrados como postgrados; dicha información es respaldada por un metaanálisis realizado a nivel mundial donde la satisfacción y la felicidad del grupo de realidad virtual 3D fueron estadísticamente significativas en comparación con las del grupo de estudiantes con entrenamientos tradicional (Jun et al., 2024). Actualmente se está trabajando en aumentar la realidad de las simulaciones como se puede constatar en una investigación realizada en Brasil

donde se buscó contribuir a la gamificación y la inmersión como elementos capaces de promover la participación en simuladores (Tori et al., 2020).

La digitalización como base para el desarrollo de los conocimientos de las ciencias de la salud siempre busca garantizar una realidad sobre cada uno de los modelos utilizados. Generando un impacto sobre los estudiantes y profesionales, que permite con cada una de las practicas realizadas fortalecer el nivel de aprendizaje; por lo que se necesita que los simuladores sean lo más parecido posible a la anatomía humana. El estándar de oro en la validación de la simulación con el fin de brindar seguridad a los pacientes, es la ciencia traslacional. De forma tradicional, la ciencia traslacional pone su máximo énfasis en que los avances de la ciencia y la tecnología influyan en la salud humana, ésta persigue diseñar rápidamente y estudiar cuanto antes nuevas aproximaciones diagnósticas o terapéuticas basadas en los últimos avances de la ciencia básica (Davila, 2014).

Al centrarse, en el campo de la odontología se ha logrado constatar que el uso de la tecnología principalmente de la digitalización como la impresión 3D aumenta la productividad y la reproducción de la anatomía humana. Se puede realizar desde un modelo estereolitográfico la simulación de las diferentes técnicas en el aprendizaje, pero también se puede realizar confecciones de materiales temporales como una corona provisional en ácido poliláctico aumentando la practicidad y la adaptación en el paciente (Alfaro, 2024). Lo cual está demostrando como cada vez más el uso de las impresiones 3D para facilitar tanto el aprendizaje como la práctica de la odontología.

En las técnicas de elevación de senos maxilares se evidencio en una revisión sistemática realizada en el año 2021 que la perforación de la membrana de Schneider, fue del 30,6%; donde la técnica más utilizada para la reparación de membranas perforadas fue la reparación con

membrana de colágeno (Díaz et al., 2021). Por la tasa tan elevada de perforación de la membrana sinusal es de vital importancia que se fortalezca el conocimiento en modelos estereolitográficos como los desarrollados en la presente investigación antes de realizar los procedimientos en los diferentes pacientes y por eso se realiza énfasis en la importancia de que los modelos tengan la mayoría de la características que tiene la anatomía del seno maxilar; garantizando que la simulación sea lo más parecida posible a la técnica realizada en cada uno de los procedimientos. Por lo que mediante la segmentación y reconstrucción tridimensional, se pueden obtener modelos 3D completos y realistas, es decir, especímenes anatómicos digitales. La mayoría de los modelos de simulación utilizados en el sistema de enseñanza de anatomía provienen directamente de estos especímenes anatómicos digitales (Zhang et al., 2019)

Tal como está referenciado en el marco teórico se tiene dos técnicas principales para realizar la elevación del seno maxilar, la cuales son la técnica de transcrestal y la de ventana lateral; descrito en la literatura actualmente por medio de un metaanálisis donde no se encontraron diferencias significativas en la supervivencia del implante o la perforación de la membrana sinusal ni la pérdida ósea marginal entre las técnicas (Shi et al., 2023). Cuando se realiza énfasis en la técnica transcrestal se tiene varias desventajas por ser una operación quirúrgica relativamente grande, donde se necesita instrumentación especializada y el procedimiento lleva tiempo para realizarse bien (Díaz, 2020); por lo cual entre mayor entrenamiento en la curva de aprendizaje serán mejores los resultados en los diferentes pacientes. Convirtiendo los modelos estereolitográficos en una excelente herramienta para afianzar la aplicación de la técnica intraoral y la técnica de ventana lateral.

Se puede realizar el entrenamiento de las diferentes técnicas de elevación de seno maxilar en los modelos estereolitográficos, pero siempre se pueden presentar variaciones como factores

anatómicos, como el hueso alveolar remanente, las características del seno maxilar, el estado de salud de la membrana de Schneider y el grosor de la pared lateral, influyen en el éxito del levantamiento (Luy et al., 2023). Teniendo presente todas estas variaciones es importante que los residentes y profesionales realicen múltiples simulaciones en modelos estereolitográficos sobre las técnicas de elevación de seno maxilar; aumentando la confianza y además simulando los diferentes retos que se puedan enfrentar con cada uno de los pacientes. Lo anterior nos permite que la curva de aprendizaje disminuya al menor tiempo posible garantizando una práctica odontológica con éxito que permita brindarle seguridad al paciente y minimizar las complicaciones en cada uno de ellos.

La investigación desarrollada presentó algunas limitaciones dentro de las cuales se evidenció que la muestra de residentes que realizaron las técnicas de elevación de seno maxilar fue pequeña a pesar de ser representativa para el número de estudiantes de postgrado de periodoncia en la Universidad Santo Tomás en el año 2024. Otras de las limitaciones presentada fue el número de modelos que se realizaron para la práctica preclínica propuesta secundario al elevado costo que tienen la impresión de modelos estereolitográficos actualmente en Colombia, por ser una tecnología que no tiene amplia oferta en el mercado lo que lleva a un aumento en el precio de las impresiones.

A pesar de las limitaciones en la presente investigación, se logró evidenciar múltiples fortalezas como fue la reconstrucción de modelos estereolitográficos por medio de la segmentación DICOM; que permitió el desarrollo y reproductividad de la anatomía humana en las impresiones tridimensionales. Además otras de las fortalezas evidenciadas fue la replicabilidad de las técnicas de elevación de seno maxilar; donde tanto los expertos como los residentes de periodoncia constataron la utilidad de los modelos desarrollados para la práctica propuesta. Aumentando la

confianza en un procedimiento crítico en la implantología dental como es la elevación del seno maxilar, del que permite la comprensión detallada de la anatomía y una destreza quirúrgica precisa para mejorar la curva de aprendizaje en cada uno de los profesionales.

## **6.1. Conclusiones**

Se logró diseñar y validar un modelo estereolitográfico a partir de la segmentación de archivos DICOM, el cual ha demostrado ser una herramienta educativa efectiva para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar por vía transcrestal y ventana lateral en residentes de periodoncia de la Universidad Santo Tomás.

El proceso de diseño y manufactura del modelo estereolitográfico, utilizando software como Blue Sky Plan v4.11, Blender v4.1 y Chitubox Pro v2.0.0, permitió replicar la anatomía del seno maxilar con alta resolución y fidelidad. La elección de resina "Anycubic Clear Plant Based" y los parámetros de impresión específicos (altura de capa de 0.05 mm, velocidad de elevación de 60 mm/min, tiempo de exposición de 2.5 segundos) contribuyeron a la calidad física del prototipo.

La evaluación inicial del prototipo por parte de un panel de expertos, a pesar de los valores de Alfa de Cronbach (0.62 y 0.52) que sugieren una consistencia interna cuestionable a pobre debido al tamaño de la muestra, fue esencial para identificar deficiencias funcionales y de realismo. La retroalimentación de los expertos resaltó la necesidad de mejorar la fidelidad táctil del hueso y el realismo de la membrana sinusal, puntos clave para la optimización del modelo.

El rediseño del modelo, incorporando una cortical ósea de 1.5 mm de grosor con un relleno (infill) del 70% y una membrana sinusal teñida de rosa con un espesor de 0.5 mm, abordó exitosamente las deficiencias identificadas por los expertos. Estas mejoras permitieron una simulación más

realista de las condiciones anatómicas y funcionales, haciendo el modelo viable para ambas técnicas de elevación de seno maxilar.

La evaluación del modelo rediseñado por parte de los residentes de periodoncia confirmó su alta efectividad y utilidad pedagógica. Los resultados cuantitativos mostraron una consistencia interna excelente y excepcional (Alfa de Cronbach de 0.866 para transcrestal y 0.970 para ventana lateral).

La percepción general fue marcadamente positiva, con la mayoría de los ítems calificando con una mediana de 4.0, y los comentarios destacaron el realismo y la usabilidad del modelo, validándolo como una herramienta significativa para la práctica preclínica.

## **6.2. Recomendaciones**

A la luz de los resultados obtenidos y la utilidad demostrada del modelo estereolitográfico para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar, se formulan las siguientes recomendaciones para futuras implementaciones y mejoras:

Se recomienda la creación de un laboratorio de impresión 3D dentro de la Universidad Santo Tomás. Este espacio debería estar equipado con las impresoras y materiales necesarios para que los estudiantes puedan fabricar de manera autónoma los modelos requeridos para su práctica esto facilitaría el acceso a herramientas de simulación de bajo costo.

Se propone el desarrollo de un repositorio virtual que albergue modelos 3D diseñados y validados bajo una metodología que garantice su solidez pedagógica y funcionalidad. Este repositorio permitiría a los estudiantes descargar los archivos necesarios, imprimirlos y seguir instrucciones de alistamiento para una práctica estandarizada y de alta calidad, promoviendo una solución asequible.

Se sugiere ampliar el desarrollo de nuevos modelos estereolitográficos para otros procedimientos odontológicos que requieran entrenamiento previo por parte de los estudiantes. Esto permitiría una replicabilidad de los procedimientos, garantizando la similitud de los modelos a la anatomía humana y al aprendizaje para los profesionales.

Es importante continuar investigando y experimentando con diferentes materiales de impresión 3D y técnicas de post-procesado para mejorar la fidelidad tisular de los modelos. Además, se recomienda el desarrollo de modelos que simulen diversas variaciones anatómicas y desafíos clínicos (como diferentes alturas de hueso alveolar remanente o características específicas del seno maxilar) para preparar a los residentes para una gama más amplia de escenarios clínicos.

### Referencias

- Abadzhiev, M. (2010b). Alternative sinus lift techniques. Literature review. *Journal Of IMAB*, 15, book 2(2009), 23-27. [https://doi.org/10.5272/jimab.1522009\\_23](https://doi.org/10.5272/jimab.1522009_23)
- Alshamrani, A. M., Mubarki, M., Alsager, A. S., Alsharif, H. K., AlHumaidan, S. A., & Al-Omar, A. (2023b). Maxillary Sinus Lift Procedures: An Overview of Current Techniques, Presurgical Evaluation, and Complications. *Curēus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.49553>
- Arguello Angulo, D., & Gonzalez Estrada, O. (2019). SEGMENTACION OSEA MEDIANTE 3D SLICER. *HAL Open Science*, <https://hal.science/hal-02021699>
- Bhalla, N., & Dym, H. (2021). Update on maxillary sinus augmentation. *Dental Clinics of North America*, 65(1), 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2020.09.013>
- Bidgood, W. D., Jr, & Horii, S. C. (1992). Introduction to the ACR-NEMA DICOM standard. *Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc*, 12(2), 345–355. <https://doi.org/10.1148/radiographics.12.2.1561424>
- Bidgood, W. D., Horii, S. C., Prior, F. W., & Van Syckle, D. E. (1997). Understanding and using DICOM, the data interchange standard for biomedical imaging. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA*, 4(3), 199–212. <https://doi.org/10.1136/JAMIA.1997.0040199>
- Castellanos, J. F. B., & Montoya, J. H. E. (2012). Elevación de piso de seno maxilar: consideraciones anatómicas y clínicas. Revisión de la literatura. *Universitas Odontológica*, 31(67), 27-55. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5025997.pdf>
- Cayo-Rojas, C. F., Begazo-Jiménez, L. A., Romero-Solórzano, L. B., Nicho-Valladares, M. K., Gaviria-Martínez, A., & Cervantes-Ganoza, L. A. (2020). Periapical lesions and their

- relationship to Schneider's membrane in cone-beam computed tomography. *International Journal of Dentistry*, 2020, 8450315. <https://doi.org/10.1155/2020/8450315>
- Cecilio-Fernandes, D., Peccin, M. S., Sandars, J., Couto, T. B., & Mazzo, A. (2024). Advancing simulation-based education in Brazil: Bridging research and practice for healthcare excellence. *Einstein* (Sao Paulo, Brazil), 21(Suppl 3(Suppl 3)), eEDS3. [https://doi.org/10.31744/einstein\\_journal/2023EDS3](https://doi.org/10.31744/einstein_journal/2023EDS3)
- Chan, H.-L., Monje, A., Suarez, F., Benavides, E., & Wang, H.-L. (2013). Palatonasal recess on medial wall of the maxillary sinus and clinical implications for sinus augmentation via lateral window approach. *Journal of Periodontology*, 84(8), 1087–1093. <https://doi.org/10.1902/jop.2012.120371>
- Chen, Y., Qian, C., Shen, R., Wu, D., Bian, L., Qu, H., Fan, X., Liu, Z., Li, Y., & Xia, J. (2020). 3D printing technology improves medical interns' understanding of anatomy of gastrocolic trunk. *Journal of Surgical Education*, 77(5), 1279–1284. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2020.02.031>
- Chow, L. K., & Cheung, L. K. (2007). The usefulness of stereomodels in maxillofacial surgical management. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 65(11), 2260–2268. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2006.11.041>
- Cortes, A. R. G., Pinheiro, L. R., Cavalcanti, M. G. P., Arita, E. S., & Tamimi, F. (2015). Sinus floor bone failures in maxillary sinus floor augmentation: a case-control study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 17(2), 335–342. <https://doi.org/10.1111/CID.12113>
- Crook, J. M. (Ed.). (2020). *3D Bioprinting: Principles and Protocols* (1a ed.). Springer.

- Dávila-Cervantes, A. (2014). Simulación en Educación Médica. *Investigación En Educación Médica*, 3(10), 100–105. [https://doi.org/10.1016/S2007-5057\(14\)72733-4](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(14)72733-4)
- Díaz-Olivares, L. A., Cortés-Bretón Brinkmann, J., Martínez-Rodríguez, N., Martínez-González, J. M., López-Quiles, J., Leco-Berrocal, I., & Meniz-García, C. (2021). Management of Schneiderian membrane perforations during maxillary sinus floor augmentation with lateral approach in relation to subsequent implant survival rates: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Implant Dentistry*, 7(1), 91. <https://doi.org/10.1186/s40729-021-00346-7>
- Domínguez, L. C., Sierra, D., Pepín, J. J., Moros, G., & Villarraga, A. (2017). Efecto del Aula Invertida Extendida a simulación clínica para la resucitación del paciente traumatizado: estudio piloto de las percepciones estudiantiles sobre el aprendizaje. *Colombian journal of anesthesiology*, 45, 4–11. <https://doi.org/10.1016/j.rca.2017.07.011>
- Dominguez Torres, L. C., Vega, N. V., Pepín-Rubio, J. J., Sierra-Barbosa, D. O., & Lotero, J. D. (2021). Se hace camino al andar: Educación médica de pregrado en el Departamento de Cirugía. *Revista Colombiana de Cirugía*, 36(1), 25–34. <https://doi.org/10.30944/20117582.648>
- Drnasin, I., Grgić, M., & Gogić, G. (2017). JavaScript access to DICOM network and objects in web browser. *Journal of Digital Imaging*, 30(5), 537–546. <https://doi.org/10.1007/s10278-017-9956-7>
- Cortes Sánchez, I., Peña Pelayo, N. J. J., Londoño Ortiz, G. A., Torres García, A., & Bermúdez Mantilla, M. (2022). *Efectividad del aula invertida en la adquisición de habilidades quirúrgicas en el semestre de cirugía de una universidad privada de Bucaramanga*. <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/20766>

- Escaf, L. J., Valdemarin, B., Escaf, L. C., Martínez, J., Londoño, J., & Melo, L. M. (2019). Impacto del entrenamiento con simulación en el desempeño de cirujanos en entrenamiento en cirugía de catarata: experiencia de centro de entrenamiento en Colombia. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=170263002002>
- Escobar-Taipe, A. M., Rivera-Marcatinco, M., Veliz-Vicharra, S., & Mattos-Vela, M. A. (2023). La digitalización en la formación odontológica. Revista de la Facultad de Odontología Universidad de Antioquia, 35(1), 62–75. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9400190>
- Especial, A. (2005). Revista Odontológica Mexicana MG (Vol. 9). <https://revistas.unam.mx/index.php/rom/issue/view/1305>
- Fruhstorfer, B. H., Palmer, J., Brydges, S., & Abrahams, P. H. (2011). The use of plastinated prosections for teaching anatomy--the view of medical students on the value of this learning resource. Clinical Anatomy (New York, N.Y.), 24(2), 246–252. <https://doi.org/10.1002/CA.21107>
- Garas, M., Vaccarezza, M., Newland, G., McVay-Doornbusch, K., & Hasani, J. (2018a). 3D-Printed specimens as a valuable tool in anatomy education: A pilot study. Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger, 219, 57–64. <https://doi.org/10.1016/J.AANAT.2018.05.006>
- García, A. O., & Portal, L. M. G. (2020). Técnicas de segmentación y procesamiento para la detección de Carcinomas Renales en imágenes de Tomografía Abdominal. Revista Cubana de Informática Médica, 12(2), 386. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcim/v12n2/1684-1859-rcim-12-02-e386.pdf>

- Guínez-Molinos, S., Maragaño Lizama, P., & Gomar-Sancho, C. (2018). Simulación clínica colaborativa para el desarrollo de competencias de trabajo en equipo en estudiantes de medicina TT - Collaborative clinical simulation to train medical students. *Revista Médica de Chile*, 146(5), 643–652. <http://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872018000500643>
- Gutiérrez Mesa, M., León-Manco, R. A., & Ruiz García, V. E. (2018). Frecuencia de patología de los senos maxilares evaluados mediante tomografía computarizada de haz cónico. *Revista Estomatológica Herediana*, 28(3), 177. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9389233>
- Hanafi, A., Donnermeyer, D., Schäfer, E., & Bürklein, S. (2020). Perception of a modular 3D print model in undergraduate endodontic education. *International Endodontic Journal*, 53(7), 1007–1016. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13299>
- Hernandez, A. F., Cañizo, R. G. R., Huerta, O. S., Cruz, E., Pineda, J. M. S., & Hernández, E. P. (2014). Aplicación de metodología de modelado 3D utilizando Tomografías Computarizadas para su análisis numérico. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 72, 116–126. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-62302014000300010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302014000300010)
- Jiménez García, S., García, J., Campuzano, O., & en Odontología, L. (2006). The general dentist and the patient with “prognatism”. Part I: Diagnostic approach. Milla Sitges, Bárbara. In *Cient. dent* (Vol. 3).
- Kanayama, T., Horii, K., Senga, Y., & Shibuya, Y. (2016). Crestal Approach to Sinus Floor Elevation for Atrophic Maxilla Using Platelet-Rich Fibrin as the Only Grafting Material: A 1-Year Prospective Study. *Implant Dentistry*, 25(1), 32–38. <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000327>

- Kessler, A., Hickel, R., & Reymus, M. (2020). 3D Printing in Dentistry—State of the Art. *Operative Dentistry*, 45(1), 30-40. <https://doi.org/10.2341/18-229-1>
- Larobina, M. (2023). Thirty Years of the DICOM Standard. *Tomography*, 9(5), 1829. <https://doi.org/10.3390/TOMOGRAPHY9050145>
- López, M. A. R. (2023). Lesiones del seno maxilar y su asociación con lesiones apicales observadas por tomografía computarizada de haz cónico. Un estudio transversal retrospectivo. *Revista Científica Odontológica*, 11(1), e139. <https://doi.org/10.21142/2523-2754-1101-2023-139>
- Lyu, M., Xu, D., Zhang, X., & Yuan, Q. (2023). Maxillary sinus floor augmentation: a review of current evidence on anatomical factors and a decision tree. *International Journal of Oral Science* 2023 15:1, 15(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41368-023-00248-x>
- Mantrana, G., Jacobo, O., Hartwing, D., & Giachero, V. (2018). Modelos de impresión tridimensional en la planificación preoperatoria y en la enseñanza académica de las fracturas mandibulares. *Cirugía Plástica Ibero-latinoamericana*, 44(2), 193-201. <https://doi.org/10.4321/s0376-78922018000200012>
- Mantri, M., Taran, S., & Sunder, G. (2022). DICOM Integration Libraries for Medical Image Interoperability: A Technical Review. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 15, 247–259. <https://doi.org/10.1109/RBME.2020.3042642>
- Martinez-Rincon, J. A., Rueda-Mahecha, Y. M., Silva-Giraldo, C. A., & García, C. A. M. (2022). Diseño y validación de un Instrumento para analizar el quehacer del profesional o especialista en seguridad y salud en el trabajo. *Techno Review*, 11(Monográfico), 1-13. <https://doi.org/10.37467/revtechno.v11.4403>

- Mcmenamin, P. G., Quayle, M. R., Mchenry, C. R., & Adams, J. W. (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical Sciences Education*, 7(6), 479–486. <https://doi.org/10.1002/ASE.1475>
- Mesa, M. G., León-Manco, R. A., & García, V. E. R. (2018). Frecuencia de patología de los senos maxilares evaluados mediante tomografía computarizada de haz cónico. *Revista Estomatológica Herediana*, 28(3), 177. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1019-43552018000300006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1019-43552018000300006&lng=es&nrm=iso)
- Millán, M., Trujillo, M., & Valencia, D. (2014). Una arquitectura de integración semántica de datos e imágenes médicas. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 11–22. <https://doi.org/10.25100/iyc.v16i2.3679>
- Mogali, S. R., Yeong, W. Y., Tan, H. K. J., Tan, G. J. S., Abrahams, P. H., Zary, N., Low-Ber, N., & Ferenczi, M. A. (2018). Evaluation by medical students of the educational value of multi-material and multi-colored three-dimensional printed models of the upper limb for anatomical education. *Anatomical Sciences Education*, 11(1), 54–64. <https://doi.org/10.1002/ASE.1703>
- Moreno-Torres, O. H., Ballesteros-Ricaurte, J. A., & Gonzalez-Sanabria, J. S. (2015). Transformación de Archivos Dicom A Formatos XML, JPEG y PNG. *Revista Científica*, 21(1), 71–80. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2015.21.a7>
- Moreno, X., Neira, P., Schoebitz, P., Gamonal, J., & Cavalla, F. (2024). Protocolo de validación del instrumento Examen Dental Preventivo del Adulto Mayor. *International Journal Of Interdisciplinary Dentistry*, 17(1), 53-57. <https://doi.org/10.4067/s2452-55882024000100053>

- Nica, D. F., Gabor, A. G., Duma, V. F., Tudericu, V. G., Tudor, A., & Sinescu, C. (2021). Sinus Lift and Implant Insertion on 3D-Printed Polymeric Maxillary Models: Ex Vivo Training for In Vivo Surgical Procedures. *Journal of Clinical Medicine*, 10(20), 4718. <https://doi.org/10.3390/JCM10204718>
- Niño Herrera, C. A., Vargas Molina, N. G., & Barragán Becerra, J. A. (2015). Fortalecimiento de la simulación clínica como herramienta pedagógica en enfermería: experiencia de internado. *Revista CUIDARTE*, 6(1), 970. <https://doi.org/10.15649/cuidarte.v6i1.161>
- Ortizo, B. N. A. (2024). Uso in vitro de coronas provisionales confeccionadas mediante técnica de impresión 3D con ácido poliláctico. *Crea Ciencia Revista Científica*, 17(1), 4–16. <https://www.uees.edu.sv/revistaenlinea/index.php/CreaCiencia/article/view/737>
- Oviedo-Quirós, J., Campos-Zumbado, J., Hernández-Montoya, D., & Lines-Gutiérrez, M. F. (2021). 3D Printing of Stereolithographic Models with Open Protocol. *Odvotos - International Journal of Dental Sciences*, 23(2), 126–136. <https://doi.org/10.15517/IJDS.2020.43185>
- Panagioti, M., Khan, K., Keers, R. N., Abuzour, A., Phipps, D., Kontopantelis, E., Bower, P., Campbell, S., Haneef, R., Avery, A. J., & Ashcroft, D. M. (2019). Prevalence, severity, and nature of preventable patient harm across medical care settings: Systematic review and meta-analysis. *The BMJ*, 366. <https://doi.org/10.1136/BMJ.L4185>
- Pjetursson, B. E., Tan, W. C., Zwahlen, M., & Lang, N. P. (2008). A systematic review of the success of sinus floor elevation and survival of implants inserted in combination with sinus floor elevation. *Journal of Clinical Periodontology*, 35(8 Suppl), 216–240. <https://doi.org/10.1111/J.1600-051X.2008.01272.X>

- Radzi, S., Chandrasekaran, R., Peh, Z. K., Rajalingam, P., Yeong, W. Y., & Mogali, S. R. (2022). Students' learning experiences of three-dimensional printed models and plastinated specimens: a qualitative analysis. *BMC Medical Education*, 22(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03756-2>
- Rica Islas Ruiz, C., del Socorro, M., Frías, N., Ángel, M., Rider, M., Guillén, P., & Rangel, G. (2015). Fundamentals of Stereolithography, an Useful Tool for Diagnosis in Dentistry Odovtos. *International Journal of Dental Sciences*, 17(2), 15–21. <https://www.redalyc.org/pdf/4995/499550302004.pdf>
- Rodríguez, A. M. S. (2015). Diseño y validación de instrumentos de medición. *Diálogos*, 14, 19–40. <https://doi.org/10.5377/dialogos.v0i14.2202>
- Santos, M. N. dos, & Júnior, J. C. de A. (2021). Oral prosthetic-surgical rehabilitation using guided surgery in the posterior region of the mandible with bone atresia. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 8(6), 499–503. <https://doi.org/10.22161/IJAERS.86.57>
- Schwarz, L., Schiebel, V., Hof, M., Ulm, C., Watzek, G., & Pommer, B. (2015). Risk Factors of Membrane Perforation and Postoperative Complications in Sinus Floor Elevation Surgery: Review of 407 Augmentation Procedures. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 73(7), 1275–1282. <https://doi.org/10.1016/J.JOMS.2015.01.039>
- Shi, S., Han, L., Su, J., Guo, J., Yu, F., & Zhang, W. (2023). Clinical efficacy of transcrestal sinus floor augmentation, in comparison with lateral approach, in sites with residual bone height  $\leq 6$  mm: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 34(11), 1151–1175. <https://doi.org/10.1111/clr.14155>

- Seguridad del paciente. (s/f). Who.int. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/patient-safety>
- Telich-Tarriba, J. E., Ramírez-Sosa, L. E., Palafox, D., Ortega-Hernández, E., & Rendón-Medina, M. A. (2020). Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía plástica reconstructiva. *Revista de la Facultad de Medicina*, 68(4). <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v68n4.77862>
- Tori, A., Tori, R., & Nunes, F. (2020). Gamificação e imersão como elementos de engajamento para simuladores: uma proposta de aplicação em realidade virtual para a Odontologia. *Anais Estendidos do Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR Estendido 2020)*, 9–10. [https://doi.org/10.5753/svr\\_estendido.2020.12945](https://doi.org/10.5753/svr_estendido.2020.12945).
- Valentini, P., Calciolari, E., Monlezun, S., Akcalı, A., Donos, N., & Quirynen, M. (2025). APCs in sinus floor augmentation. *Periodontology* 2000, 97(1), 254–270. <https://doi.org/10.1111/prd.12554>
- Van Den Bergh, J. P. A., Bruggenkate, C. M. T., Disch, F. J. M., & Tuinzing, D. B. (2000). Anatomical aspects of sinus floor elevations. *Clinical Oral Implants Research*, 11(3), 256–265. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2000.011003256.x>
- Wang, J., Li, W., Dun, A., Zhong, N., & Ye, Z. (2024). 3D visualization technology for Learning human anatomy among medical students and residents: a meta- and regression analysis. *BMC Medical Education*, 24(1), 461. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05403-4>
- Youman, S., Dang, E., Jones, M., Duran, D., & Brenseke, B. (2021). The Use of 3D Printers in Medical Education with a Focus on Bone Pathology. *Medical Science Educator*, 31(2), 581. <https://doi.org/10.1007/S40670-021-01222-0>
- Zaitoun, N. M., Aqel, M. J. (2015). Survey on Image Segmentation Techniques. *Procedia Computer Science*, 65(2015), 797-807. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.027>

Zhang, X., Yang, J., Chen, N., Zhang, S., Xu, Y., & Tan, L. (2019). Modeling and simulation of an anatomy teaching system. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, 2(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s42492-019-0019-4>


## Apéndices

*Apéndices A. Operacionalización de las variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Función</b>	<b>Naturaleza</b>	<b>Categorías/ codificación</b>
Años de experiencia en cirugía de elevación de seno maxilar	Tiempo en años que una persona ha practicado cirugía de elevación de seno maxilar	Tiempo en años de experiencia en cirugía de elevación de seno maxilar	Registrar la cantidad de años de experiencia en cirugía de elevación de seno maxilar	Cuantitativa/ Continua/Ra zón	Años de experiencia (números enteros).
Material del modelo estereolitográfico	Material plástico de alta densidad	Tipo específico de resina o plástico utilizado en la impresión 3D	Determinar el material utilizado en la creación del modelo estereolitográfico	Cuantitativa / discreta	Inaceptable (0) Deficiente (1) Regular (2) Bueno (3) Excelente (4)
Durabilidad del material	Alta resistencia a la deformación y desgaste	Descripción de la resistencia del material utilizado en el modelo	Evaluar la durabilidad del modelo estereolitográfico	Cuantitativa / discreta	Inaceptable (0) Deficiente (1) Regular (2) Bueno (3) Excelente (4)
Similitud a las condiciones reales de elevación de seno maxilar	Muy similar a la anatomía humana real	Escala para medir la semejanza con las condiciones reales	Evaluar qué tan realista es el modelo en comparación con la anatomía humana	Cuantitativa / discreta	Inaceptable (0) Deficiente (1) Regular (2) Bueno (3) Excelente (4)
Facilidad de uso del modelo	Intuitivo y fácil de manipular	Escala de facilidad de uso	Evaluar la facilidad con la que los	Cuantitativa / discreta	Inaceptable (0) Deficiente (1)


			usuarios pueden trabajar con el modelo		Regular (2) Bueno (3) Excelente (4)
Utilidad percibida para la práctica preclínica	Altamente beneficioso para el entrenamiento	Escala de utilidad percibida	Evaluar la percepción de utilidad del modelo para la práctica preclínica	Cuantitativa / discreta	Inaceptable (0) Deficiente (1) Regular (2) Bueno (3) Excelente (4)
Percepción del aumento de conocimientos	Incremento significativo en el conocimiento anatómico	Escala de percepción de aumento de conocimientos	Evaluar si el uso del modelo ha contribuido al aumento de conocimientos	Cuantitativa / discreta	Inaceptable (0) Deficiente (1) Regular (2) Bueno (3) Excelente (4)
Nivel de confianza en la aplicación práctica	Confianza que se desarrolla en la aplicación practica	Escala de confianza en la aplicación práctica	Medir el nivel de confianza de los usuarios en la aplicación práctica del modelo	Cuantitativa / discreta	Inaceptable (0) Deficiente (1) Regular (2) Bueno (3) Excelente (4)
Aplicación exitosa de habilidades adquiridas en situaciones reales	Éxito comprobado en la transición a situaciones clínicas reales	Variable binaria que indica éxito o no en situaciones reales	Evaluar la efectividad del modelo en la aplicación práctica de habilidades adquiridas	Cuantitativa / discreta	Inaceptable (0) Deficiente (1) Regular (2) Bueno (3) Excelente (4)

*Apéndices B. Instrumento*

<b>Diseño y validación de un modelo estereolitográfico para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar en residentes de periodoncia de segundo año en la Universidad Santo Tomás</b>		 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> <small>PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA</small> <b>BUCARAMANGA</b>				
Fecha:	Nro. de encuesta:					
<b>Variables sociodemográficas</b>						
Edad :						
Sexo	Hombre :	Mujer:				
Estudiante posgrado:		Docente:				
Experiencia realizando cirugía de elevación de seno maxilar		SI:	NO:			
Cuantos años de experiencia:						
<b>Valoración física del modelo estereolitografico</b>						
<p><b>Indicaciones:</b> Tendrá la oportunidad de calificar cada uno de los aspectos; por favor evalúe cada ítem expuesto marcando con una <b>X</b> la casilla que usted considere de acuerdo con la siguiente escala:</p> <p><b>1:</b> inaceptable</p> <p><b>2:</b> deficiente</p> <p><b>3:</b> Regular</p> <p><b>4:</b> bueno</p> <p><b>5:</b> Excelente</p>						
<b>Aspecto a evaluar</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentario adicional o sugerencia</b>

¿ El modelo cumplió con los estándares en la metodología de aprendizaje?						
¿Considera que el modelo estereolitográfico es una ayuda educativa apropiada como insumo para la práctica preclínica de cirugía de elevación de seno maxilar?						
¿Los colores usados en el modelo son acordes a los de la anatomía que se está evaluando?						
¿La textura del modelo es acorde a la de la anatomía del hueso y membrana que se está evaluando?						
¿ el modelo cumple en apariencia con la anatomía que comprende el seno maxilar¿						
¿ el modelo cumple con sus expectativas personales con respecto a la práctica preclínica?						
¿Usará este modelo para la preclínica de elevación de seno maxilar ?						

*Apéndices C. Consentimiento informado*

	<b>Diseño y validación de un modelo estereolitográfico para la práctica de elevación de seno maxilar en periodoncia</b>	<b>Página: 1 de 4</b>
		<b>Versión: 01</b>
	<b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS -SECCIONAL FLORIDABLANCA</b>	<b>Fecha:</b> <input type="text"/>

**Código del Participante :**

### CONSENTIMIENTO INFORMADO INDIVIDUAL

#### 1. Introducción

Los INVESTIGADORES *Marleny Jhoana Garcia Parada, María Paula Gómez Mosquera, Luz Adriana Durango Quiñonez* del trabajo de grado para optar por el título de especialista en Periodoncia de la Universidad Santo Tomás, nos encontramos desarrollando un proyecto de investigación titulado “Diseño y validación de un modelo estereolitográfico para la práctica de elevación de seno maxilar en periodoncia”. Esta investigación se enmarca en los principios éticos establecidos en la Resolución 008430 del 4 de octubre de 1993, del Ministerio de Salud de Colombia, “por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, nos permitimos informarle los objetivos y justificación de esta investigación, de manera que usted pueda tomar una decisión libre y autónoma de participar

o no de la misma. Estamos dispuestos a resolver cualquier duda o pregunta que usted tenga con el fin de garantizar su total comprensión.

---

Teniendo en cuenta que usted cumple con los siguientes criterios para poder participar en este estudio como son:

- Estudiante de la especialización periodoncia

**2. Objetivos del estudio** Diseñar y validar un modelo estereolitográfico desarrollado a partir de la segmentación de archivos DICOM diseñado para la práctica preclínica de elevación de seno maxilar vía transcrestal y ventana lateral, practica que se realizara con residentes de periodoncia de segundo año del 2024 en la Universidad Santo Tomás

### **3. Confidencialidad**

Es importante que usted conozca que se tomarán todas las medidas necesarias para proteger su privacidad como participante del estudio y para el registro de la información a través de la recolección de los datos, incluida la encuesta creada para determinar la validación de un modelo estereolitográfico para la práctica de elevación de seno maxilar. En caso de que usted acepte recibir información sobre el resultado del estudio, cuando la investigación finalice, se informará de los resultados mediante el correo personal.

### **4. Costos y compensación**

Los costos que pueda generar este trabajo correrán por cuenta de los investigadores, además, usted no recibirá ningún pago por participar en la investigación.

### **5. Derecho a rehusar o abandonar el estudio**

La participación en este estudio es voluntaria y luego de iniciar y aceptar participar, puede negarse a contestar alguna pregunta o a continuar en el programa en cualquier momento que lo decida. Puede retirarse en cualquier etapa de la investigación, ninguna persona se enfadará o molestará con usted.

### **6. Preguntas**

Puede realizar cualquier tipo de pregunta ahora o en cualquier momento del estudio.

### **7. Declaración del participante**

Al firmar este documento, usted está aceptando que ha entendido la información que se le ha dado y desea participar en este estudio y por tanto está de acuerdo con:

- ✓ Contestar de manera consciente y veraz la encuesta de Diseño y validación de un modelo estereolitográfico para la práctica de elevación de seno maxilar en periodoncia así como la información relacionada con las características sociodemográficas como edad, sexo y nivel socioeconómico.

- ✓ Autorizar el uso de los resultados de la encuesta Diseño y validación de un modelo estereolitográfico para la práctica de elevación de seno maxilar en periodoncia obtenidos durante el proceso con fines de investigación, educación o publicación en revistas científicas y/o de información general, teniendo en claro que **su nombre no será revelado durante este proceso y usted es libre de desistir de la investigación cuando lo desee.**

**Aceptación para participar.** La firma o huella es el respaldo de su autorización para participar en el presente estudio.

El responsable de obtener el consentimiento informado debe firmar y consignar sus datos de identificación personal, lugar y fecha de obtención del consentimiento.

¿Autoriza usted su participación voluntaria en este proyecto? Sí  No

Si usted ha aceptado participar, por favor escriba su nombre y firma en el espacio siguiente:

Nombre y apellidos completos de la participante:

\_\_\_\_\_

Documento de identidad: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha \_\_/\_\_/\_\_\_\_\_

### **11. Declaración del investigador**

Certifico que yo como investigador he explicado a la persona sobre esta investigación y que la persona entendió la naturaleza y el propósito del estudio, así como los posibles riesgos y beneficios asociados con su participación en el mismo. Todas las preguntas que esta persona ha hecho le han sido contestadas.

Firma de los investigadores

Credencial universitario

Cédula

\_\_\_\_\_

Si tiene preguntas acerca de esta investigación puede contactar a las investigadores principales Marleny Jhoana García Parada, Luz Adriana Durango Quiñónez y María Paula Gómez Mosquera en cualquier de los siguientes correos institucionales [marleny.garcia@ustabuca.edu.co](mailto:marleny.garcia@ustabuca.edu.co), [luz.durango@ustabuca.edu.co](mailto:luz.durango@ustabuca.edu.co) y [paula.gomez@ustabuca.edu.co](mailto:paula.gomez@ustabuca.edu.co).

*Apéndices D. Ficha técnica de modelo estereolitográfico de maxilar superior*

<b>NOMBRE:</b>	<b>MODELO ESTEREOLITOGRAFICO DEL MAXILAR SUPERIOR</b>
DESCRIPCION:	Modelo practico en resina que simula la rigidez ósea y textura siliconada interior para simular la membrana sinusal del seno maxilar
MATERIA PRIMA:	Resina, silicona
COLOR:	Traslucido, coral
TEXTURA:	Compacto, cauchoso
APLICACIÓN Y USO:	Practicas preclínicas para cirugía de elevación de seno maxilar, técnica ventana lateral y técnica crestal