

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Odontología

Especialización en Operatoria y Estética Dental.

**COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN 3D-PRINTED MODELS DESIGNED WITH
GENERIC AND DENTAL-SPECIFIC SOFTWARE**


Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Especialista
en Operatoria y Dental y Estética.

Autor:

Doménica Patricia Pazán Morales

Director:

Jaime Alejandro Larriva Loyola

ORCID:  0000-0003-0555-3571

Cuenca, Ecuador

2023-12-13

Resumen

Con la gran demanda en el mercado de nuevos softwares dentales, se ha visto la necesidad de realizar un estudio de precisión para aplicaciones en odontología digital, para lo cual no existe un estudio comparativo, y existe un desconocimiento generalizado respecto a sus aplicaciones. El propósito de este estudio fue investigar las diferencias de precisión entre las impresiones digitales obtenidas utilizando el software genérico G-CAD (CAD general) y D CAD (CAD dental). Nuestra hipótesis es que no existe una diferencia significativa entre el software para uso dental específico y general. Métodos: Se digitalizó un tipodonto con un escáner intraoral y los modelos obtenidos se exportaron en formato STL a cuatro softwares diferentes (Autodesk MeshMixer 3.5, Exocad Dental, Blender for dental e InLAB). Los archivos STL obtenidos por cada software se materializaron mediante una impresora 3D. Los modelos impresos fueron escaneados y exportados en archivos STL, con los que se formaron seis pares de grupos. Los grupos se compararon utilizando el software de análisis (3D Geomagic Control X) superponiéndolos en el orden de alineación inicial y utilizando el método de mejor ajuste. Resultados: No hubo diferencias significativas entre los cuatro tipos de software analizados; sin embargo, el grupo 4, compuesto por la combinación de D-CAD (Blender–InLAB), obtuvo el promedio más alto ($-0,0324$ DE = $0,0456$), con una mayor precisión en comparación con el grupo con menor promedio (grupo 5, compuesto por la combinación de los modelos Meshmixer y Blender), un software genérico y un software específico ($0,1024$ DE = $0,0819$). Conclusión: Aunque no se encontró evidencia de diferencias significativas con respecto a la precisión de los modelos 3D producidos por G-CAD y D-CAD, las combinaciones de grupos donde estaba presente un software de diseño dental específico mostraron una mayor precisión (precisión y veracidad) además evidenció una mayor tolerancia en los grupos utilizando D-CAD.

Palabras clave: CAD/CAM; software dental; modelos 3D; STL; flujo de trabajo digital.



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

With the great demand in the market for new dental software, it has become necessary to carry out a study of precision for digital dentistry applications, for which there is no comparative study, and there is a general lack of knowledge regarding its applications. The purpose of this study was to investigate the differences in accuracy between digital impressions obtained using the generic software G-CAD (general CAD) and D CAD (dental CAD). Our hypothesis is that there is no significant difference between the software for specific and general dental use. Methods: A typodont was digitized with an intraoral scanner and the models obtained were exported in STL format to four different software programs (Autodesk MeshMixer 3.5, Exocad Dental, Blender for dental and InLAB). The STL files obtained by each software were materialized using a 3D printer. The printed models were scanned and exported into STL files, from which six pairs of groups were formed. The groups were compared using the analysis software (3D Geomagic Control X) by superimposing them in the initial alignment order and using the best fit method. Results: There were no significant differences between the four types of software analyzed; however, group 4, composed of the combination of D-CAD (Blender-InLAB), obtained the highest average (-0.0324 SD = 0.0456), with a higher accuracy compared to the group with the lowest average (group 5, composed of the combination of the Meshmixer and Blender models), a generic software and a specific software (0.1024 SD = 0.0819). Conclusion: Although no evidence of significant differences was found with regard to the accuracy of the 3D models produced by G-CAD and D-CAD, the combinations of groups where specific dental design software was present showed greater accuracy (precision and accuracy) and also showed greater tolerance in the groups using D-CAD.

Keywords: cad/cam, dental software, 3D models, stl, digital workflow. *Keywords:* CAD/CAM; dental software; 3D models; STL; digital workf



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Agradecimiento	7
Dedicatoria	8
1. Introducción	9
2. Materiales y métodos	12
2.1. DIGITALIZACIÓN Y DISEÑO DE MODELOS: PRIMERA FASE	12
2.2. DIGITALIZACIÓN DEL MODELO Y GRUPOS A ESTUDIAR: SEGUNDA FASE.....	13
2.3. ANÁLISIS DE ARCHIVOS .STL	14
2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	14
3. Resultados	14
4. Discusión	18
5. Conclusiones	21
Referencias	23
Anexos	29

Índice de figuras

Figura 1. Procedimiento de digitalización y diseño de modelos.....	13
Figura 2. Grupo 6 (InLAB SW 22.0, Dentsply-Sirona, Bensheim, Alemania y Autodesk MeshMixer, San Francisco, CA, EE. UU.).....	14
Figura 3. Diagrama de caja para mediciones STL de los grupos. G1: Licuadora-Exocad; G2: InLAB–Exocad; G3: Licuadora-Mezcladora de malla; G4: Licuadora-InLAB; G5: Mezclador de malla-Exocad; G6: Mezclador de malla– InLAB.	15
Figura 4. Diagrama de barra de tolerancia 3D. G1: Licuadora-Exocad; G2: InLAB-Exocado; G3: Licuadora-Mezcladora; G4: Licuadora-InLAB; G5: Mezclador de malla-Exocad; G6: Mezclador de malla - InLAB.	17
Figura 5. Dispersión entre grupos. G4: Licuadora-InLAB; G3: Licuadora-Mezcladora de malla; G1: Licuadora-Exocad; G6: Mezclador de malla-InLAB; G2: InLAB-Exocad; G5: Mezclador de malla-Exocad.....	21

Índice de tablas

Tabla 1. Grupos incluidos en el estudio grupos emparejados de softwares dentales.	13
Tabla 2. Estadística descriptiva del STL para los seis grupos.	15
Tabla 3. Prueba de normalidad para valores STL en los grupos.	16
Tabla 4. Prueba de Kruskal-Wallis para valores STL en los grupos.	17
Tabla 5. Prueba de Levene para la homocedasticidad de los valores STL entre grupos.	17

Agradecimiento

El principal agradecimiento a Dios por haberme dado la fortaleza y guiarme a seguir adelante, dándome la oportunidad de culminar esta etapa y trabajo de investigación.

A la universidad de Cuenca por abrirme las puertas de su prestigiosa y respetable institución cuna de formidables profesionales que me han visto crecer desde pregrado y ahora posgrado.

Al Dr. Cristian Abad Coronel, por brindarme, conocimientos, un gran mentor y ejemplo a seguir por su apoyo incondicional que recibí en mi calamidad y darme esa fortaleza para cumplir mi objetivo.

Dedicatoria

A mi Padres Patricio, Eulalia y hermana Alejandra por su amor incondicional sé que los tres hicieron un trabajo y sacrificio muy grande para poder realizar la especialidad que me han apoyado en cada momento, ustedes que son mi motivación de nunca rendirme, en el trayecto de mi momento más difícil de salud, nunca me dejaron, a mi perrita minimi que estuvo acompañándome todos los días en las largas jornadas de estudio.

1. Introducción

La aplicación del flujo de trabajo digital en odontología está aumentando debido al rápido desarrollo y mejora de los escáneres intraorales, el software dental y los materiales dentales, convirtiéndose en una parte integral de la rutina diaria y la comunicación entre dentistas y técnicos dentales.^{1,2} En este campo, una de las herramientas más conocidas es la tecnología CAD/CAM (diseño asistido por ordenador/fabricación asistida por ordenador) [3,4], que ofrece entre sus ventajas la capacidad de optimizar procesos que analógicamente son más laboriosos [5]. Además, permite diseñar y fabricar restauraciones en el consultorio, con alta calidad funcional y estética, asegurando un mejor ajuste entre superficies de una forma más rápida y forma más cómoda para el paciente, ajustándose a las características y anatomía del diente, mediante restauraciones diseñadas con diferentes softwares [6,7]. En resumen, estas tecnologías proporcionan un flujo de trabajo más eficiente en el entorno clínico, proporcionando alta exactitud, precisión, previsibilidad, eficiencia y rentabilidad con una amplia gama de materiales de restauración con propiedades físicas, ópticas y biológicas adecuadas.^{8,9} El flujo de trabajo digital con un sistema CAD/ CAM implica la adquisición, digitalización, diseño y fabricación de imágenes [10,11]. Este flujo de trabajo se puede clasificar en tres grupos: en el consultorio, directamente en el consultorio dental; laboratorio a través de un laboratorio dental; o mixto, utilizando procesos de ambos de los anteriores [12]. El proceso comienza con la adquisición de información para crear una “nube de puntos” mediante escaneo. La situación espacial de la digitalización de los puntos escaneados está definida por sus coordenadas cartesianas; así se forma un modelo 3D, dado por la unión de los planos dispuestos en triangulaciones. Este paso se considera crítico para generar un archivo 3D [13,14].

La nube de puntos generada durante el escaneo se convierte en una superficie continua a través del algoritmo del software CAD, lo que puede causar cierta pérdida de precisión.¹² Los factores técnicos que influyen en la precisión del proceso de escaneo incluyen: la iluminación ambiental, la versión del software operativo, la tecnología de impresión óptica del escáner intraoral y la profundidad de campo y la estrategia de escaneo [3,15, dieciséis]. Sin embargo, incluso si la nube de puntos tiene baja densidad o áreas aberrantes, el escáner puede eliminar dichas mediciones utilizando algoritmos informáticos, generando así un mejor modelo digital.^{3,14,17} Por esta razón, ciertos software de digitalización, luego de la adquisición de la imagen, se encargan de procesar la información para generar un archivo que puede ser exportado a diferentes programas de diseño dependiendo del formato requerido.^{13,18} El archivo digital obtenido se puede almacenar en varios formatos, como la estereolitografía (STL), el formato de información geométrica de objetos 3D (OBJ) y el formato de archivo de polígonos (TYP). Los archivos OBJ o PLY contienen información adicional

sobre el color y la textura del objeto [19]. Sin embargo, en la mayoría de los sistemas, los datos CAD se manejan y transmiten en formato STL, donde cada triángulo de un archivo STL consta de tres puntos con coordenadas cartesianas, concretamente X, Y, Z y una superficie [1] y, por tanto, se ha convertido en el formato de archivo estándar en la impresión 3D [8]. En la fase CAM, el modelo se puede materializar en diversos sistemas ya sea como fabricación aditiva (AM) en impresión 3D o por sustracción a través de una fresadora [20].

En el intercambio de datos entre diferentes tipos de software dental puede haber mayor o menor precisión en la malla de los objetos 3D [21]. La calidad de la impresión digital está definida por dos factores independientes, que son la veracidad o confiabilidad y la precisión; la combinación de ambos factores determina la precisión [22]. La veracidad se obtiene comparando la geometría original del modelo maestro de referencia con el modelo digitalizado, mientras que la precisión se obtiene mediante una comparación intragrupo de modelos digitalizados, es decir, se refiere a la aproximación de la concordancia entre los resultados de las pruebas. [19,20]. Durante los pasos de adquisición y digitalización, la precisión de la impresión puede verse afectada [23].

Hay dos tipos de sistemas que admiten archivos: sistemas abiertos o sistemas cerrados. Los sistemas cerrados ofrecen un flujo integrado completo, que incluye adquisición de datos, diseño virtual con software y fabricación de restauración en el mismo entorno. Todos los pasos están integrados en un sistema único y no existe intercambiabilidad entre diferentes sistemas de otras empresas [24], aunque algunos de ellos permiten exportar a software de diferentes empresas intercambiando archivos STL para diseño. Actualmente, muchos flujos de trabajo permiten abrir archivos universales mediante la exportación de mallas digitales en diferentes formatos [22,25].

Por otro lado, los sistemas abiertos permiten la adopción de los datos digitales originales generados por software CAD y dispositivos CAM de diferentes empresas, aportando una mayor versatilidad [24,26]. Este tipo de sistemas manejan datos tridimensionales en formato STL, que es el más utilizado en los sistemas CAD/CAM dentales, basados en software de código abierto porque está disponible gratuitamente, lo que significa que cualquier usuario puede inspeccionarlos, mejorarlos o compartirlos. . Su formato universal permite que STL funcione con casi todos los programas de software CAD [9,27].

Cuando se utiliza software de código abierto, se debe considerar el hecho de que es posible que no haya sido desarrollado originalmente para el uso de diseño dental; este software ha sido transformado a lo largo del tiempo, como es el caso del software Blender 3.3.1, el cual fue adaptado a Blender for Dental 3.3.1 [28].

El software específico para diseño dental se puede clasificar como D-CAD y el software para diseño general no específico se puede clasificar como G-CAD. La incorporación de nuevas

tecnologías en la práctica privada o en un laboratorio dental requiere el dominio de software de diseño, así como la comprensión de estas herramientas y su aplicación en diversas situaciones y entornos clínicos; Cabe señalar que el uso de software implica una curva de aprendizaje importante [29].

La fase CAD es una parte muy desafiante del flujo de trabajo digital. El uso de diferentes tipos de software específicos de diseño dental sumado a la escasa literatura existente lo ha convertido en un tema a investigar en profundidad [30]. La evaluación de D-CAD mediante el análisis de la curva de aprendizaje confirma que los resultados difieren según el tipo de programa de software [31]. Nuevos estudios han demostrado que el aprendizaje CAD está estrechamente relacionado con la curva de aprendizaje y el aprendizaje repetido de D-CAD; por lo tanto, el aprendizaje del diseño de software es necesario para una aplicación clínica efectiva [32]. Se debe considerar que el aprendizaje de D-CAD está fuertemente influenciado por la interfaz de usuario (UI) del software y la experiencia del usuario (UX). Por lo tanto, incluso si el programa de software se utiliza por primera vez, cuanto mejores sean la UI y la UX, mayor será la tasa de aprendizaje [33].

D-CAD sirve como una herramienta intuitiva para profesionales; sin embargo, la flexibilidad para crear diseños virtuales es más limitada debido al costo por paquete o versión requerida, en comparación con el software de diseño no específico G-CAD. D-CAD tiene las ventajas de presentar de forma más simplificada todas las herramientas disponibles para los diseños; por lo tanto, la curva de aprendizaje y el tiempo de trabajo son más cortos [34,35].

SGSD requiere una curva de aprendizaje más larga y una menor inversión económica en comparación con D-CAD. Sin embargo, la desventaja de G-CAD es que sería más propenso a errores tanto en el mallado como en la planificación del tratamiento.[36]. En ausencia de una literatura extensa sobre estudios experimentales de D-CAD, un dentista que trabaja con el software G-CAD encontrará dificultades en la planificación integral del tratamiento, hasta que se familiarice con todas las herramientas necesarias.[37].

Un ejemplo de G-CAD es MeshMixer, que es gratuito con funciones básicas como recorte simple, desgomado, etiquetado de modelos digitales y la opción de agregar bibliotecas dentales; sin embargo, dentro de sus limitaciones, no puede analizar la oclusión, ni las proporciones, posiciones, formas y morfologías dentales. Por esta razón, se menciona como desventaja la necesidad de una curva de aprendizaje más larga, así como un mayor tiempo de diseño [27,29,38,39].

El propósito de este estudio fue comparar la precisión de diferentes archivos STL de modelos 3D, que fueron exportados con G-CAD y D-CAD, para observar si las mallas de los archivos podrían sufrir modificaciones que impactaran la precisión de las impresiones digitales. Esto proporcionaría información distinta para odontólogos y laboratoristas, además de

proporcionar criterios para su elección, en vista de la escasa literatura [27]. Dadas las diferentes características del software utilizado, los modelos impresos fueron analizados en términos de veracidad y precisión comparándolos con los diferentes tipos de software de diseño. Por lo tanto, la hipótesis nula fue que no habría diferencias estadísticamente significativas en términos de precisión y veracidad entre los archivos de los modelos dentales impresos que fueron diseñados con estos dos softwares.

2. Materiales y métodos

2.1. Digitalización y Diseño de Modelos: Primera Fase

Para la primera fase, se escaneó un tipodonto maestro de arcada superior con un escáner intraoral de alta gama (PrimeScanMT, Dentsply-SironaMT, Nueva York, NY, EE. UU.), siguiendo la estrategia de escaneo recomendada por el fabricante. Además, se consideró este método debido a su alta veracidad y al hecho de que el sistema parece ser una herramienta válida para obtener conjuntos de datos digitales de arco completo in vivo con una precisión comparable.29]. Luego se digitalizó y la imagen obtenida se exportó en un formato de archivo STL de alta resolución utilizando un software de consulta (CEREC 5.0.0, Dentsply-Sirona, NY, EE. UU.).

El archivo STL se exportó a cada uno de los cuatro softwares diferentes previamente seleccionados: tres SDED (Exocad Dental 3.1, exocad, Darmstadt, Alemania; Blender for dental 3.3.1, blender, Nueva York, EE. UU.; e InLAB SW 22.0, Dentsply-SironaTM, Bensheim, Alemania); y un G-CAD (MeshMixer, Autodesk, San Francisco, CA, EE. UU.). En resumen, el estudio compara la precisión de los modelos digitales procesados con diferentes programas CAD.

A continuación, se obtuvo un archivo STL exportado de cada software de diseño estudiado. Cada uno de los modelos digitales se imprimió utilizando una impresora 3D (SprintRay, Los Ángeles, CA, EE. UU.), con resina para modelos (SprintRay Die y Model 2). Se obtuvieron cuatro modelos impresos para cada grupo. Inmediatamente, los modelos impresos se colocaron en una plataforma de lavado automatizada de múltiples etapas, comenzando con un lavado de dos ciclos con el uso de alcohol isopropílico al 91%, seguido de un secado rápido de 10 minutos (SprintRay Pro Wash/Dry, SprintRay, Los Ángeles, California, EE.UU.); al finalizar, se fotopolimerizaron con luz UV de 120 W durante 120 s en el sistema de fotopolimerización incorporado (Procure, SprintRay, Los Ángeles, CA, EE. UU.) (Figura1).



Figura 1. Procedimiento de digitalización y diseño de modelos.

2.2. Digitalización del Modelo y Grupos a Estudiar: Segunda Fase

El proceso comenzó con el escaneo de los cuatro modelos impresos, siguiendo la estrategia de escaneo recomendada por el fabricante (PrimeScanMT, Dentsply-SironaMT, Nueva York, NY, EE. UU.). Los modelos digitales se exportaron como archivos STL al 100% de resolución, para comparar, superponiendo las mallas, los diferentes softwares. Para realizar la comparación se formaron seis grupos con la composición descrita en la Tabla 1.

Tabla 1. Grupos incluidos en el estudio grupos emparejados de softwares dentales.

Grupo 1	Exocad Dental,Darmstadt, Germany.	Blender for dental, New York, USA.
Grupo 2	InLAB SW 22.0, Dentsply-SironaTM, Bensheim, Alemania.	Exocad Dental,Darmstadt, Germany.
Grupo 3	Autodesk Mesh Mixer, San Francisco, USA.	Exocad Dental,Darmstadt, Germany.
Grupo 4	Blender for dental, New York, USA	InLAB SW 22.0, Dentsply-SironaTM, Bensheim, Alemania.
Grupo5	Autodesk Mesh Mixer, San Francisco, USA.	Blender for dental, New York, USA
Grupo 6	InLAB SW 22.0, Dentsply-SironaTM, Bensheim, Alemania.	Autodesk Mesh Mixer, San Francisco, USA.

2.3. Análisis de archivos .STL

Utilizando software de análisis de malla (Geomagic control; X Rock Hill/SC/3D Systems Inc., San Francisco, CA, EE. UU.), debido a que es un software de comparación de alta precisión que genera varios puntos de medición y mapas de color, es fácil para el diseñador a utilizar. Los dos archivos STL formados en cada grupo se importaron para comparar, mediante alineación inicial y método de mejor ajuste, replicando los mismos puntos de referencia.

A partir de las mallas digitales alineadas se inició la comparación 3D midiendo cinco puntos en cada grupo. Los cinco puntos de medición se ubicaron en la papila interincisal, en la cúspide palatina de las piezas 1.5 y 2.5, y en la parte mesiopalatina de las piezas 1.6 y 2.6. Al replicar este paso en los seis grupos para los mismos puntos, se obtuvieron en total 30 puntos de medición, los cuales proporcionaron la estadística descriptiva de cada grupo con media, desviación estándar, valores mínimo y máximo, además del mapa de colores de -1 mm azul + 1 mm rojo, y el rango de tolerancia de $\pm 0,1$ mm, como se muestra en la figura 2.

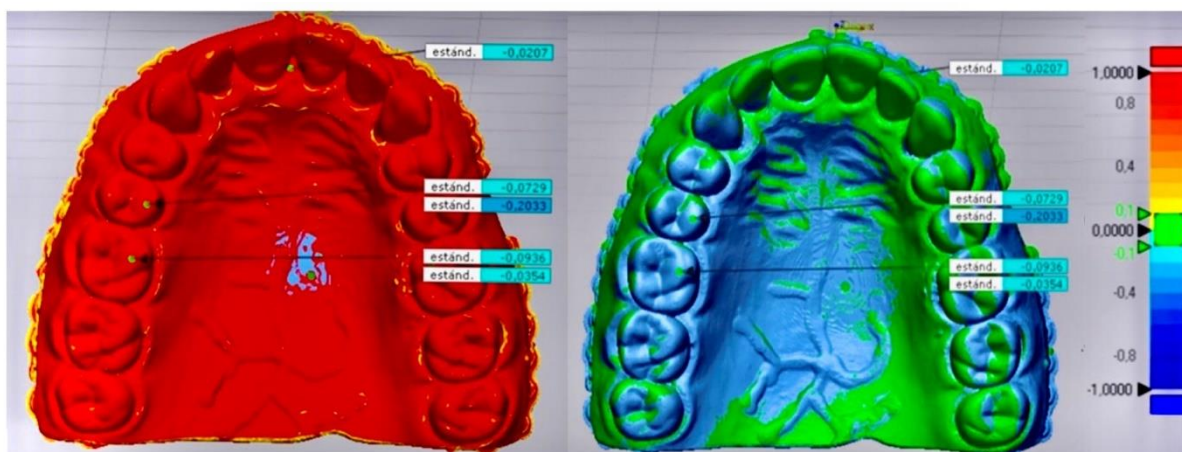


Figura 2. Grupo 6 (InLAB SW 22.0, Dentsply-Sirona, Bensheim, Alemania y Autodesk MeshMixer, San Francisco, CA, EE. UU.).

2.4. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se definieron las variables obtenidas de las combinaciones de los seis grupos de software utilizados en este estudio. Con base en los datos generados por el software de análisis, se realizaron pruebas estadísticas de homocedasticidad (igualdad de varianzas) con la prueba estadística de Levene, una prueba de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y una prueba de rangos con la prueba de Kruskal-Wallis. prueba estadística (para determinar discrepancias en el promedio), todas con software estadístico (SPSS V27 para Windows; IBM Corp. Chicago, IL, USA) y con un nivel de significancia del 5%.

3. Resultados

La estadística descriptiva, donde el grupo 4 obtuvo el mayor promedio (-0.0324 SD = 0.0456) con valores mínimo y máximo de $-0,070$ y $0,0462$, respectivamente. A partir de

estos resultados se observó que los grupos 3 y 4 mostraron mayor precisión y exactitud con menor dispersión entre sus mediciones.

Tabla 2. Estadística descriptiva del STL para los seis grupos.

Statistics	Groups					
	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Mean	-0.0956	-0.1017	-0.0694	-0.0324	-0.1024	-0.0852
Standard deviation	0.0866	0.1031	0.0693	0.0456	0.0819	0.0721
Variance	0.0075	0.0106	0.0048	0.0021	0.0067	0.0052
Minimum	-0.2470	-0.2548	-0.1870	-0.0700	-0.2210	-0.2033
Máximo	-0.0384	-0.0372	-0.0254	0.0462	-0.0393	-0.0207

Nota: G1 (Blender-Exocad), G2 (In Lab-Exocad), G3 (Blender-Meshmixer), G4 (Blender-In Lab), G5 (Meshmixer-Exocad), G6 (Meshmixer-In Lab).

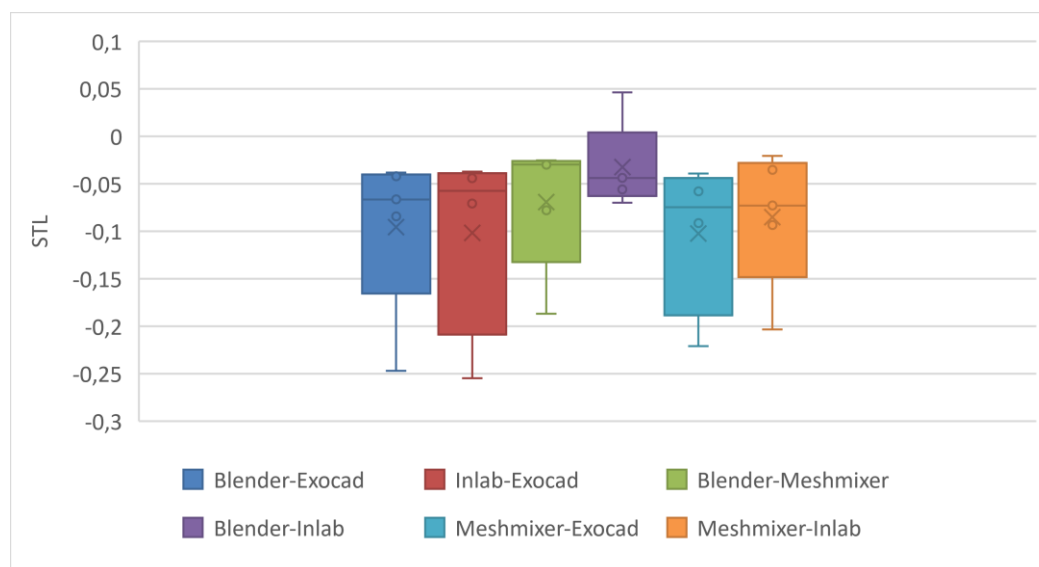


Figura 3. Diagrama de caja para mediciones STL de los grupos.

Nota: G1 (Blender-Exocad), G2 (In Lab-Exocad), G3 (Blender-Meshmixer), G4 (Blender-In Lab), G5 (Meshmixer-Exocad), G6 (Meshmixer-In Lab).

Figura 3 muestra el análisis de valores atípicos y cuartiles. En este caso, no se encontraron valores atípicos en ninguno de los grupos. Para el grupo 1 (Blender-Exocad) se observó poca dispersión; la mediana mostró que el 50% de las mediciones estaban por debajo -0,0665, el cuartil 1 indicó que el 25% estaba por debajo -0,1656 y el cuartil 3 mostró que el 75% estaba por debajo -0,0403. El grupo 2 (InLAB-Exocad) fue el grupo con mayor dispersión de todos,

donde el 50% de las observaciones estuvieron por debajo $-0,0574$, 25% por debajo $-0,2088$ y 75% por debajo $-0,0389$. El grupo 3 (Blender-Meshmixer) fue el grupo con la segunda dispersión más baja, donde el 50% de las observaciones estuvieron por debajo $-0,0299$, 25% por debajo $-0,1325$ y 75% por debajo $-0,0260$. grupo 4 (Blender-InLAB) fue el grupo con menor dispersión de todos (mayor precisión), donde el 50% de las observaciones estuvieron por debajo $-0,0439$, 25% por debajo $-0,063$ y 75% por debajo de $0,004$. El grupo 5 (Meshmixer-Exocad) fue el segundo grupo con mayor dispersión después del grupo 2, donde el 50% de las observaciones estuvieron por debajo $-0,0747$, 25% por debajo $-0,1886$ y 75% por debajo $-0,044$. Para el grupo seis, el 50% de las observaciones estuvieron por debajo $-0,0729$, 25% por debajo $-0,1485$ y 75% por debajo $-0,0281$. Según estos resultados, los valores fueron similares entre grupos, pero algunos grupos fueron más variables que otros. Los resultados del análisis descriptivo indicaron que los softwares Blender for Dental, InLAB, MeshMixer y Exocad mostraron mayor exactitud y precisión en las combinaciones de grupos donde D-CAD estuvo presente. Sin embargo, la hipótesis nula no fue rechazada, es decir, no existe evidencia de una diferencia significativa en la precisión de los modelos dentales 3D.

Tabla 3. Prueba de normalidad para valores STL en los grupos.

Cluster	Statistical	P-value
Blender-Exocad	0.737	0.023<0.05
In Lab-Exocad	0.744	0.034<0.05
Blender-Meshmixer	0.746	0.027<0.05
Blender-In-Lab	0.799	0.079>0.05
Meshmixer-Exocad	0.845	0.210>0.05
Meshmixer-In Lab	0.881	0.314>0.05

Tabla 4. Prueba de Kruskal-Wallis para valores STL en los grupos.

Cluster	Average range	Kruskal-Wallis H	P-value
Blender-Exocad	12.20	3,524	0.620>0.05
In Lab-Exocad	12.50		
Blender-Meshmixer	17.80		
Blender-In-Lab	18.60		
Meshmixer-Exocad	10.75		
Meshmixer-In Lab	2.00		

Se demostró que no había diferencias entre las precisiones (desviación estándar) reportadas por los diferentes grupos, ya que el estadístico de Levene basado en la media y la mediana arrojó valores superiores al nivel de significancia (mediapag-valor = 0,772 y mediana pag - valor = 0,977).

Tabla 5. Prueba de Levene para la homocedasticidad de los valores STL entre grupos.

	Estadística de Levene	GI1	GI2	pag-valor
Basado en el promedio	0.502	5	22	0,772 > 0,05
Basado en la mediana	0,152	5	22	0,977 > 0,05

Del análisis de cifras 3y4, se determinó que el grupo 3 presentó el mayor porcentaje dentro del rango de tolerancia del 75,21%, seguido del grupo 4 (72,23%) y el grupo 1 (70,78%). Los grupos 6, 5 y 2 presentaron tolerancias de 67,87%, 67,85% y 60,32%, respectivamente, mostrando menor tolerancia y mayor dispersión.

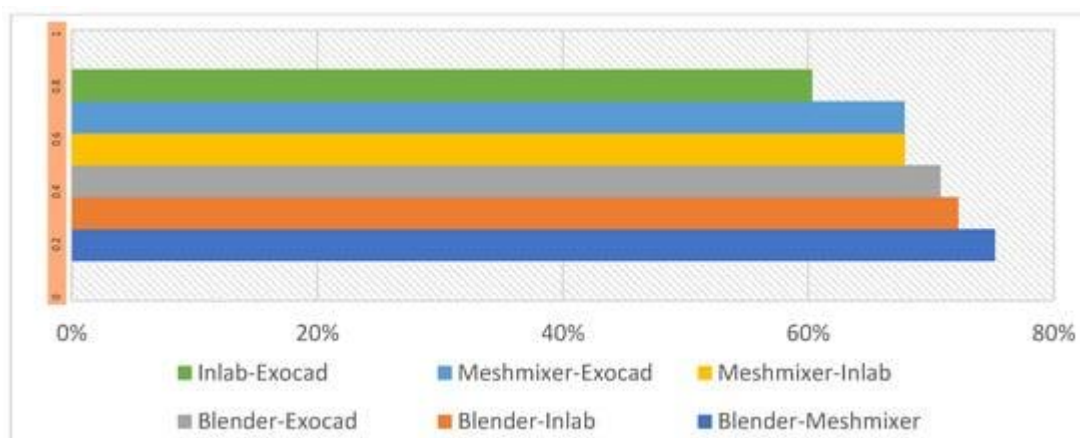


Figura 4. Diagrama de barra de tolerancia 3D. G1: Licuadora-Exocad; G2: InLAB-Exocad; G3: Licuadora-Mezcladora; G4: Licuadora-InLAB; G5: Mezclador de malla-Exocad; G6: Mezclador de malla - InLAB.

4. Discusión

El propósito de este estudio fue comparar los softwares D-CAD y G-CAD a través de la precisión de diferentes archivos STL de modelos 3D, para observar el comportamiento de las mallas de los archivos que podrían influir en la veracidad de las impresiones digitales.

Los resultados del análisis descriptivo indican que los softwares Blender for dental, InLAB, MeshMixer y Exocad mostraron mayor exactitud y precisión en las combinaciones de grupos en las que estaba presente un D-CAD. Sin embargo, la hipótesis nula no fue rechazada, lo que significa que no hay evidencia de diferencias significativas en la precisión de los modelos dentales 3D producidos por diferentes softwares, tanto D-CAD como G-CAD.

En cuanto a la media, los grupos D-CAD obtuvieron mayor precisión y menor dispersión que la media obtenida con un G-CAD.

Por desviación estándar, el estudio tampoco encontró diferencias significativas entre los grupos.

Estos hallazgos sugieren que la elección del software dental utilizado para fabricar modelos dentales 3D puede no ser crítica en términos de precisión y exactitud, ya que todos los software evaluados produjeron resultados comparables. Sin embargo, los hallazgos a través del análisis de valores atípicos y cuartiles de las mediciones STL para cada grupo no proporcionaron valores atípicos para ninguno de ellos, ya que se identificaron resultados similares, aunque algunos grupos mostraron más variabilidad que otros. Por lo tanto, los resultados proporcionados por los diferentes softwares tanto para el D-CAD como para el G-CAD incluidos en el estudio no mostraron diferencias significativas, aunque se evidenciaron mejores resultados en términos de precisión y exactitud al compararlos con un D-CAD.

La comparación de los gráficos 3D obtenidos con la superposición de las mallas digitales de los modelos impresos realizada con ayuda del software de análisis utilizando el método de mejor ajuste, replicando los mismos cinco puntos de referencia para los seis grupos formados, evidenció una mayor tolerancia en los grupos utilizando un D-CAD.

Aunque el uso de impresiones digitales en odontología no es un tema nuevo, sigue existiendo la preocupación de prescindir de las impresiones convencionales y confiar más en las impresiones digitales. Varios estudios han comparado la precisión de las impresiones digitales de implantes dentales con técnicas de impresión convencionales y los resultados obtenidos han demostrado que la precisión que ofrecen las impresiones digitales puede ser clínicamente aceptable [40,41]. En este sentido, señalaron que los resultados pueden verse influenciados por el operador (p. ej., experiencia y estrategia de escaneo) [21,42,43], por tecnología (p. ej., escáneres, impresoras, algoritmos, software) [44,45] y condiciones clínicas (p. ej., luz ambiental, materiales dentales dentro de la cavidad bucal, saliva y/o sangre, cantidad de encía adherida, movimiento del paciente) [46,47].

Específicamente en relación con las tecnologías involucradas como parte del proceso CAD/CAM, existe evidencia de estudios previos que investigan la precisión de los diferentes escáneres en el mercado [48–50], que reveló que los resultados de la precisión de las impresiones digitales con escáneres intraorales pueden variar dependiendo de si la investigación se realizó in vitro [51] o en vivo [52]; pocos estudios abordaron la precisión lograda al combinar el escáner con software de diseño CAD, en los casos de aquellos con software de diseño propietario o de código abierto considerando las desviaciones que ocurren al exportar el archivo STL a diferentes software de diseño CAD que permiten evaluar la pérdida de datos. durante la transferencia de escaneos intraorales a varios programas de diseño CAD. Según este enfoque, un estudio concluyó que se obtienen resultados más precisos cuando se utiliza el software de diseño propietario asociado al escáner intraoral utilizado, y en otro caso recomiendan el uso de escáneres de sistema abierto que realizan una exportación directa al formato STL debido a la pérdida de datos. relacionado con la precisión del modelo se observó en su estudio al transferir del formato de escáner propietario al formato STL [53,54]. También se ha examinado el efecto de las versiones del software del escáner y del software de diseño CAD sobre la precisión de los resultados, demostrando que las actualizaciones más recientes garantizan una mayor precisión y, por tanto, resultados más satisfactorios. En cuanto a la precisión de los archivos STL, las actualizaciones de software parecen lograr archivos STL cada vez más precisos [55,56].

La exactitud se refiere a la precisión y la veracidad. La precisión, conceptualmente, es la diferencia entre mediciones repetidas sobre un objetivo determinado, mientras que la veracidad expresa qué tan cerca están los resultados de una medición de los valores reales del objeto medido. [57]. En relación con las huellas dactilares, la veracidad es una medida importante para analizar un modelo de esta fuente [27, 58]. Esto es mientras que la evidencia de exactitud de las impresiones digitales según la literatura consultada sería clínicamente aceptable entre 50 y 120 μ metro [59–61], lo que significa que la precisión de la impresión digital como primer paso en cualquier flujo de trabajo digital debe ser por debajo de ese rango. Es de destacar que la precisión de las impresiones digitales actuales ha llevado a su integración en los consultorios dentales [7]. La precisión se puede medir mediante diferentes métodos, y en muchos casos se evalúa la precisión examinando los flujos de trabajo protésicos [59,62]. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones similares al presente estudio utilizaron software especial para comparar archivos STL con un conjunto de datos de referencia [57], siendo la alineación de mejor ajuste el método más utilizado.

En este sentido, se revela que el software de verificación (Geomagic, Control X) utilizado en este estudio ha mostrado buena precisión en la medición de modelos digitales [58,63,64].

El avance tecnológico de los últimos años ha llevado a la implementación de un gran número de softwares D-CAD y G-CAD, y el escáner intraoral utilizado en el estudio tiene buena reputación en relación a la precisión de las mediciones. En el caso de G-CAD, los nuevos desarrollos se han adaptado y ahora incluyen amplias bibliotecas dentales, como es el caso de MeshMixer, que facilita su uso en el diseño dental. En general, el software que hace posible el diseño dental ofrece actualmente diferentes herramientas, protocolos de registro de datos CT o CBCT, modelos de superficie y salidas en formato STL, y permite integrar el diseño 2D en 3D, como es el caso de Exocad Dental. InLAB y Blender para odontología, aplicaciones que tienen la capacidad de realizar piezas dentales con geometría compleja, aprovechando al máximo los recursos [sesenta y cinco] y realizar una planificación virtual utilizando todo el flujo de trabajo digital.

Según otros autores, algunos diseños de software pueden ser más intuitivos que otros, haciendo su elección muy subjetiva, recomendando que antes de elegir un sistema se deben probar tantos diseños de software como sea posible hasta encontrar el programa CAD más satisfactorio y que mejor se ajuste a las necesidades específicas. sistemas utilizados en la rutina diaria [66,67], donde el usuario considera para su elección los costos, las herramientas ofrecidas, la curva de aprendizaje, el consumo de tiempo para el diseño y su afinidad con el flujo digital [8,39,68]. Estas razones respaldaron el interés de la presente investigación en vista de la escasa literatura que compara software genérico y específico [69].

Cabe señalar que en el presente estudio in vitro, el escaneo se realizó en un ambiente diferente a las condiciones intraorales; por lo tanto, los resultados obtenidos pueden diferir si se realizan en condiciones clínicas. También se identifica como limitación del estudio el uso de un único escáner intraoral e impresora 3D, lo que limita los resultados del estudio a las especificaciones técnicas del software y hardware de este equipo. Sin embargo, es importante resaltar que el escáner intraoral utilizado en el estudio tiene buena reputación en relación a la precisión de las mediciones. En relación a esto, el estudio Roth reveló que, en la comparación entre 12 escáneres intraorales, CEREC Primescan en relación a los resultados de exactitud (veracidad + precisión) fue el más exacto (4,2 puntos de veracidad + 3,2 puntos de precisión = 7.70,71], que presenta resultados comparables con la precisión de los escáneres de laboratorio principalmente en segmentos cortos y lineales [72]. Respecto a la importancia de la impresora utilizada para establecer una comparación, Moron et al. afirmó que pueden ocurrir diferencias estadísticamente significativas en la precisión de los modelos impresos, con mejores resultados para las impresoras 3D de escritorio industriales que para las dentales [73]. Sin embargo, impresoras como la impresora DLP utilizada en este estudio tienen cada vez más una selección de materiales automatizada y procesos de postproducción posteriores con dispositivos integrados.

Respecto a los resultados obtenidos para los diferentes softwares, otros autores, en hallazgos concordantes con nuestros resultados, demostraron que los tres programas CAD analizados en su estudio (InLAB, Multi-CAD y Blue-Sky CAD) pueden diseñar coronas clínicamente aceptables en términos de interior. y ajuste marginal, aunque las coronas InLAB superaron a las demás en términos de ajuste marginal [74], mostrando que estadísticamente no hubo diferencias significativas entre los resultados obtenidos por los diferentes softwares de diseño; sin embargo, InLAB, que es un D-CAD, produjo los resultados más precisos (Figura5). En términos de tolerancia, los softwares D-CAD mostraron mejores resultados. Esto concuerda con los resultados de otros autores, además de resaltar su versatilidad, alta precisión y mayor intuición para el operador.

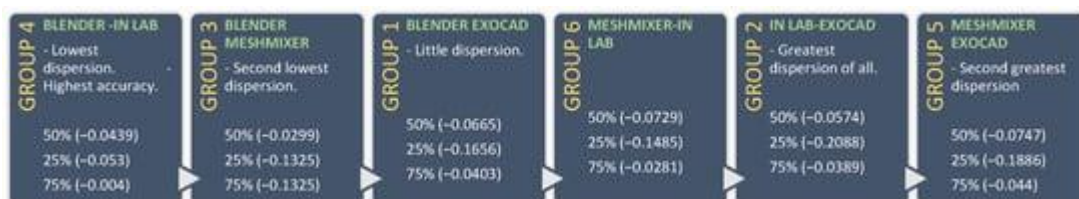


Figura 5. Dispersión entre grupos. G4: Licuadora-InLAB; G3: Licuadora-Mezcladora de malla; G1: Licuadora-Exocad; G6: Mezclador de malla-InLAB; G2: InLAB-Exocad; G5: Mezclador de malla-Exocad.

Entre las limitaciones del estudio, además de ser un estudio in vitro y por tanto carecer de condiciones clínicas reproducibles intraoralmente (saliva y oscuridad, entre otros factores), se utilizó un solo operador, un solo modelo de escáner y una sola impresora 3D. Como recomendación, es necesario aumentar el tamaño de la muestra, para tener mayor certeza en los resultados.

Por lo tanto, se requieren más estudios para analizar y comparar los resultados de diferentes softwares de diseño utilizados en odontología.

Aunque el estudio proporciona información valiosa sobre la precisión de varios software dentales, se necesitan más investigaciones con un tamaño de muestra mayor para confirmar estos resultados y evaluar otros aspectos relevantes como la facilidad de uso, la eficiencia y el costo. En última instancia, la elección del software dental debe basarse en una variedad de factores, como las necesidades del usuario, la complejidad del caso y la disponibilidad de recursos, y no únicamente en la exactitud y precisión de los modelos 3D producidos.

5. Conclusiones

El presente estudio ha demostrado que los softwares evaluados en este trabajo presentaron resultados similares en cuanto a medidas de dispersión, así como uniformidad en los mapas de color generados por grupos a partir de las diferentes combinaciones de archivos STL. Además, se demostró que no hubo alteraciones en el rendimiento de los diferentes softwares

utilizados en el estudio, lo que sugiere que no existen diferencias significativas en exactitud y veracidad entre los archivos de los modelos impresos que fueron diseñados con tres criterios específicos y uno general. software; sin embargo, cabe señalar que los grupos que se combinaron con un D-CAD tuvieron mayor precisión que el G-CAD.

Los resultados del análisis descriptivo indicaron que los softwares Blender for dental, InLAB, MeshMixer y Exocad mostraron mayor exactitud y precisión en las combinaciones de grupos en los que estuvo presente un D-CAD.

La comparación de los gráficos 3D obtenidos con la superposición de mallas digitales, utilizando el software de análisis con el método de mejor ajuste, mostró mayor tolerancia en los grupos que utilizaron el D-CAD y mostraron mejores resultados.

Respecto a la media, los grupos D-CAD obtuvieron mayor precisión y menor dispersión que la media obtenida con el G-CAD.

Referencias

1. Stanley, M.; Paz, A.G.; Miguel, I.; Coachman, C. Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM: Case report. *BMC Oral Health* 2018, *18*, 134. [CrossRef] [PubMed]
2. Abad-Coronel, C. Digital dentistry: An increasingly virtual reality. *Mouth* 2017, *2*, e19042017es. [CrossRef]
3. Michelinakis, G.; Apostolakis, D.; Kamposiora, P.; Papavasiliou, G.; Özcan, M. The direct digital workflow in fixed implant prosthodontics: A narrative review. *BMC Oral Health* 2021, *21*, 37. [CrossRef] [PubMed]
4. Tanveer, W.R.; Pramana, A.; Molinero-Mourelle, P. Systematic Review of Clinical Applications of CAD/CAM Technology for Craniofacial Implants Placement and Manufacturing of Orbital Prostheses. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, *18*, 1349. [CrossRef]
5. Robles-Medina, M.; Romeo-Rubio, M.; Salido, M.P.; Pradíes, G. Digital Intraoral Impression Methods: An Update on Accuracy. *Curr. Oral Health Rep.* 2020, *7*, 361–375. [CrossRef]
6. Medina-Sotomayor, P.; Ordóñez, P.; Ortega, G. Accuracy of Intraoral Digital Impression Systems in Restorative Dentistry: A Review of the Literature. *Odovtos Int. J. Dent. Sci.* 2020, *23*, 205–216. [CrossRef]
7. Rutkuňas, V.; Gedrimiene, A.; Al-Haj Husain, N.; Pletkus, J.; Barauskis, D.; Jegelevičius, D.; Özcan, M. Effect of additional reference objects on accuracy of five intraoral scanners in partially and completely edentulous jaws: An in vitro study. *J. Prosthet. Dent.* 2023, *130*, 111–118. [CrossRef] [PubMed]
8. Blatz, M.B.; Conejo, J. The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dent. Clin. N. Am.* 2019, *63*, 175–197. [CrossRef]
9. Mörmann, W.H. The evolution of the CEREC system. *J. Am. Dent. Assoc.* 2006, *137*, 7S–13S. [CrossRef]
10. Leberfinger, A.N.; Jones, C.M.; Mackay, D.R.; Samson, T.D.; Henry, C.R.; Ravnic, D.J. Computer-Aided Design and Manufacture of Intraoral Splints: A Potential Role in Cleft Care. *J. Surg. Res.* 2021, *261*, 173–178. [CrossRef]
11. Rekow, E.D. Digital dentistry: The new state of the art—Is it disruptive or destructive? *Dent. Mater.* 2020, *36*, 9–24. [CrossRef]
12. Stromeyer, S.; Wiedemeier, D.; Mehl, A.; Ender, A. Time Efficiency of Digitally and Conventionally Produced Single-Unit Restorations. *Dent. J.* 2021, *9*, 62. [CrossRef]

13. Lin, W.-S.; Harris, B.T.; Phasuk, K.; Llop, D.R.; Morton, D. Integrating a facial scan, virtual smile design, and 3D virtual patient for treatment with CAD-CAM ceramic veneers: A clinical report. *J. Prosthet. Dent.* 2018, *119*, 200–205. [CrossRef] [PubMed]
14. Richert, R.; Goujat, A.; Venet, L.; Viguie, G.; Viennot, S.; Robinson, P.; Farges, J.-C.; Fages, M.; Ducret, M. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J. Healthc. Eng.* 2017, *2017*, 8427595. [CrossRef]
15. Diker, B.; Tak, Ö. Accuracy of six intraoral scanners for scanning complete-arch and 4-unit fixed partial dentures: An in vitro study. *J. Prosthet. Dent.* 2021, *128*, 187–194. [CrossRef]
16. Tian, Y.; Chen, C.; Xu, X.; Wang, J.; Hou, X.; Li, K.; Lu, X.; Shi, H.; Lee, E.-S.; Jiang, H.B. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning* 2021, *2021*, 9950131. [CrossRef]
17. Passos, L.; Meiga, S.; Brigagão, V.; Street, A. Impact of different scanning strategies on the accuracy of two current intraoral scanning systems in complete-arch impressions: An in vitro study. *Int. J. Comput. Dent.* 2019, *22*, 307–319. [PubMed]
18. Buhner Samra, A.P.; Morais, E.; Mazur, R.F.; Vieira, S.R.; Rached, R.N. CAD/CAM in dentistry—A critical review. *Odonto Mag. Ciência* 2016, *31*, 140. [CrossRef]
19. Nully, A.B. A comparison of the trueness and accuracy of the full arch of nine intraoral digital scanners and four digital laboratory scanners. *Dent. J.* 2021, *9*, 75. [CrossRef]
20. Beuer, F.; Schweiger, J.; Edelhoff, D. Digital dentistry: An overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br. Dent. J.* 2008, *204*, 505–511. [CrossRef]
21. Kwon, S.R.; Hernández, M.; Blanchette, D.R.; Lam, M.T.; Gratton, D.G.; Aquilino, S.A. Effect of Computer-Assisted Learning on Students' Dental Anatomy Waxing Performance. *J. Dent. Educ.* 2015, *79*, 1093–1100. [CrossRef] [PubMed]
22. Clunie, L.; Morris, N.P.; Joynes, V.C.T.; Pickering, J.D. How comprehensive are research studies investigating the efficacy of technology-enhanced learning resources in anatomy education? A systematic review. *Anat. Sci. Educ.* 2018, *11*, 303–319. [CrossRef]
23. Kalberer, N.; Mehl, A.; Schimmel, M.; Müller, F.; Srinivasan, M. CAD-CAM milled versus rapidly prototyped (3D-printed) complete dentures: An in vitro evaluation of trueness. *J. Prosthet. Dent.* 2019, *121*, 637–643. [CrossRef] [PubMed]

24. Abad-Coronel, C.; Valdiviezo, Z.O.P.; Naranjo, Y.O.B. Intraoral Scanning Devices Applied in Fixed Prosthodontics. *Acta Sci. Dent. Sci.* 2019, 3, 44–51. [CrossRef]
25. Eaton, K.A.; Reynolds, P.A.; Grayden, S.K.; Wilson, N.H.F. A vision of dental education in the third millennium. *Br. Dent. J.* 2008, 205, 261–271. [CrossRef] [PubMed]
26. Alghazzawi, T.F. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J. Prosthodont. Res.* 2016, 60, 72–84. [CrossRef]
27. Piedra-Cascón, W.; Hsu, V.T.; Revilla-León, M. Facially Driven Digital Diagnostic Waxing: New Software Features to Simulate and Define Restorative Outcomes. *Curr. Oral Health Rep.* 2019, 6, 284–294. [CrossRef]
28. Lee, S.J.; Kim, S.W.; Lee, J.J.; Cheong, C.W. Comparison of intraoral and extraoral digital scanners: Evaluation of surface topography and accuracy. *Dent. J.* 2020, 8, 52. [CrossRef]
29. Keul, C.; Güth, J.F. Influence of intraoral conditions on the accuracy of full-arch scans by Cerec Primescan AC: An in vitro and in vivo comparison. *Int. J. Comput. Dent.* 2022, 25, 17–25. *Dent. J.* 2023, 11, 216 12 of 13
30. Chrusćiel-Nogalska, M.; Smektała, T.; Tutak, M.; Sporniak-Tutak, K.; Olszewski, R. Open-source software in dentistry: A systematic review. *Int. J. Technol. Assess. Health Care* 2017, 33, 487–493. [CrossRef]
31. Takeuchi, Y.; Koizumi, H.; Furuchi, M.; Sato, Y.; Ohkubo, C.; Matsumura, H. Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and fixed dental prostheses. *J. Oral Sci.* 2018, 60, 1–7. [CrossRef] [PubMed]
32. Sampaio, C.S.; Puppini-Rontani, J.; Tonolli, G.; Atria, P.J. Workflow of digitally guided direct composite resin restorations using? Open-source software and 3D printing: A clinical technique. *Quintessence Int.* 2021, 52, 104–110. [CrossRef] [PubMed]
33. Kollmuss, M.; Kist, S.; Goeke, J.E.; Hickel, R.; Huth, K.C. Comparison of chairside and laboratory CAD/CAM to conventional produced all-ceramic crowns regarding morphology, occlusion, and aesthetics. *Clin. Oral Investig.* 2015, 20, 791–797. [CrossRef]
34. Son, K.; Lee, K.-B. Effect of computer literacy on the working time of the dental CAD software program. *J. Prosthodont. Res.* 2021, 65, 255–260. [CrossRef]
35. Son, K.; Lee, W.-S.; Lee, K.-B. Prediction of the learning curves of 2 dental CAD software programs. *J. Prosthet. Dent.* 2019, 121, 95–100. [CrossRef]
36. Son, K.; Lee, K.-B. Prediction of learning curves of 2 dental CAD software programs, part 2: Differences in learning effects by type of dental personnel. *J. Prosthet. Dent.* 2020, 123, 747–752. [CrossRef]

37. Dentsply Sirona. *New inLab Software 22.0 Integrates CEREC Primemill Into Streamlined Workflows*; Dental Products Report; Dentsply Sirona: Charlotte, NC, USA, 2022.
38. Gerth, M.; Steinbrecher, T. *Ten Years of Exocad with Tillmann Steinbrecher and Maik Gerth*; Dental Tribune: Leipzig, Germany, 2020.
39. Kurbad, A.; Kurbad, S. Cerec Smile Design: A Software Tool to Enhance Restorations in the Esthetic Zone. *Int. J. Comput. Dent.* 2013, *16*, 255–269. [PubMed]
40. Coachman, C.; Blatz, M.B.; Bohner, L.; Sesma, N. Dental software classification and dento-facial interdisciplinary planning platform. *J. Esthet. Restor. Dent.* 2021, *33*, 99–106. [CrossRef]
41. Buzayan, M.M.; Yeoh, O.T.; Alsadaie, K.I.; Sivakumar, I. Designing of Occlusal Appliance Digital Protocol Using an Open Source 3D Modelling Software Program: A Technical Report. *Int. J. Comput. Dent.* 2023, preprint. [CrossRef]
42. Saravia-Rojas, M.; Gutiérrez-Trevejo, J.; Fukuhara-Nakama, M.; Velásquez-Huaman, Z. Autodesk Meshmixer used in dental education: Is it possible? *Stomatol. Mag. Hered.* 2021, *31*, 323–329.
43. Shan, T.; Tay, F.; Gu, L. Application of Artificial Intelligence in Dentistry. *J. Dent. Res.* 2020, *100*, 232–244. [CrossRef]
44. Rico, J.P.; Brinkmann, J.C.; Martin, M.C.; González, M.A.; Arribas, C.T.; Alonso, V.R.; Suárez, C.L.; Suárez García, M.J. Digital Impression Taking for Maxillary Full-Arch Restoration with Immediate Loading: A Case Report. *J. Oral Implantol.* 2022, *48*, 125–132. [CrossRef]
45. Chiu, A.; Chen, Y.-W.; Hayashi, J.; Sadr, A. Accuracy of CAD/CAM Digital Impressions with Different Intraoral Scanner Parameters. *Sensors* 2020, *20*, 1157. [CrossRef]
46. Fuentes-Lufer, B.; Ramirez, C.; Vicent, P. Dimensional Comparison between Digitized Models Obtained with the Silicone Tray Impression Technique and a Master Model. In *Vitro Study*; University of Valparaiso: Valparaiso, IN, USA, 2022; pp. 2–70.
47. Chen, X.; Li, X.; Xu, L.; Sun, Y.; Politis, C.; Egger, J. Development of a computer-aided design software for dental splint in orthognathic surgery. *Sci. Rep.* 2016, *6*, 38867. [CrossRef] [PubMed]
48. Gilboe, D.B.; Scott, D.A. Computer systems for dental practice management: A new generation of independent dental software. *Tex. Dent. J.* 1994, *111*, 9–14. [PubMed]
49. Kernen, F.; Kramer, J.; Wanner, L.; Wismeijer, D.; Nelson, K.; Flügge, T. A review of virtual planning software for guided implant surgery-data import and visualization, drill guide design and manufacturing. *BMC Oral Health* 2020, *20*, 251. [CrossRef]

50. Wood, R.E.; Gardner, T. Use of dental CBCT software for evaluation of medical CT-acquired images in a multiple fatality incident: Proof of principles. *J. Forensic Sci.* 2020, *66*, 737–742. [CrossRef] [PubMed]
51. Kravitz, N.D.; Groth, C.; Shannon, T. CAD/CAM software for three-dimensional printing. *J. Clin. Orthod. JCO* 2018, *52*, 22–27.
52. Abad-Coronel, C.; Atria, P.J.; Muñoz, C.R.; Conejo, J.; Córdova, N.M.; Pendola, M.; Blatz, M. Analysis of the mesh resolution of an.STL exported from an intraoral scanner file. *J. Esthet. Restor. Dent.* 2022, *34*, 816–825. [CrossRef]
53. Monaco, C.; Scheda, L.; Baldissara, P.; Zucchelli, G. Implant Digital Impression in the Esthetic Area. *J. Prosthodont.* 2019, *28*, 536–540. [CrossRef]
54. Steinhäuser-Andresen, S.; Detterbeck, A.; Funk, C.; Krumm, M.; Kasperl, S.; Holst, A.; Hirschfelder, U. Pilot study on accuracy and dimensional stability of impression materials using industrial CT technology. *J. Orofac. Orthop.* 2011, *72*, 111–124. [CrossRef]
55. Freedman, M.; Quinn, F.; O’Sullivan, M. Single unit CAD/CAM restorations: A literature review. *J. Ir. Dent. Assoc.* 2007, *53*, 38–45.
56. Gintaute, A.; Weber, K.; Zitzmann, N.U.; Brägger, U.; Ferrari, M.; Joda, T. A Double-Blind Crossover RCT Analyzing Technical and Clinical Performance of Monolithic ZrO₂ Implant Fixed Dental Prostheses (iFDP) in Three Different Digital Workflows. *J. Clin. Med.* 2021, *10*, 2661. [CrossRef] [PubMed]
57. Goujat, A.; Abouelleil, H.; Colon, P.; Jeannin, C.; Pradelle, N.; Seux, D.; Grosgeat, B. Marginal and internal fit of CAD-CAM inlay/onlay restorations: A systematic review of in vitro studies. *J. Prosthet. Dent.* 2019, *121*, 590–597.e3. [CrossRef] [PubMed]
58. Al-Meraikhi, H.; Yilmaz, B.; McGlumphy, E.; Brantley, W.A.; Johnston, W.M. Distortion of CAD-CAM-fabricated implant-fixed titanium and zirconia complete dental prosthesis frameworks. *J. Prosthet. Dent.* 2018, *119*, 116–123. [CrossRef] [PubMed]
59. Wan, H.; Jia, H.; Xia, T.; Zhang, D. Comparative efficacy and safety of abrocitinib, baricitinib, and upadacitinib for moderate-to- severe atopic dermatitis: A network meta-analysis. *Dermatol. Ther.* 2022, *35*, e15636. [CrossRef] *Dent. J.* 2023, *11*, 216 13 of 13\
60. Su, F.-Y.; Tsai, J.-C.; Morton, D.; Lin, W.-S. Use of intraoral scan for implant-supported dental prosthesis to design and fabricate a CAD-CAM verification device: A dental technique. *J. Prosthet. Dent.* 2020, *125*, 204–207. [CrossRef]
61. Asar, N.V.; Yun, S.; Schwartz, S.; Turkyilmaz, I. Analysis of the relationship between the surface topography of prepared tooth surfaces and data quality of digital impressions from an intraoral scanner. *J. Dent. Sci.* 2022, *17*, 545–550. [CrossRef]

62. Etemad-Shahidi, Y.; Qallandar, O.B.; Evenden, J.; Alifui-Segbaya, F.; Ahmed, K.E. Accuracy of 3-Dimensionally Printed Full-Arch Dental Models: A Systematic Review. *J. Clin. Med.* 2020, *9*, 3357. [CrossRef]
63. Fung, L.; Brisebois, P. Implementing Digital Dentistry into Your Esthetic Dental Practice. *Dent. Clin. N. Am.* 2020, *64*, 645–657. [CrossRef] [PubMed]
64. Flügge, T.; Att, W.; Metzger, M.; Nelson, K. Precision of Dental Implant Digitization Using Intraoral Scanners. *Int. J. Prosthodont.* 2016, *29*, 277–283. [CrossRef] [PubMed]
65. Gan, N.; Xiong, Y.; Jiao, T. Accuracy of Intraoral Digital Impressions for Whole Upper Jaws, Including Full Dentitions and Palatal Soft Tissues. *PLoS ONE.* 2016, *611*, e0158800. [CrossRef]
66. Ender, A.; Mehl, A. Accuracy of complete-arch dental impressions: A new method of measuring trueness and precision. *J. Prosthet. Dent.* 2013, *109*, 121–128. [CrossRef]
67. Berland, L.; Traub, D.; Williams, A. The aesthetic edge. A new approach to smile design. *Dent. Today* 2003, *22*, 70–73.
68. Vogler, J.A.H.; Billen, L.; Walther, K.A.; Wöstmann, B. Conventional cast vs. CAD/CAM post and core in a fully digital chairside workflow—An in vivo comparative study of accuracy of fit and feasibility of impression taking. *J Dent.* 2023, *136*, 104638. [CrossRef] [PubMed]
69. Ballo, A.M.; Sim, J.W. A Novel Digital Implant Planning Workflow in Patients with Preexisting Metal Restorations: A Technical Report. *J. Prosthodont.* 2021, *30*, 632–635. [CrossRef] [PubMed]
70. Jennes, M.E.; Soetebeer, M.; Beuer, F. In vivo full-arch accuracy of intraoral scanners: A narrative review. *Int. J. Comput. Dent.* 2022, *25*, 9–16.
71. Mosier, M.; Barmak, B.; Gómez-Polo, M.; Zandinejad, A.; Revilla-León, M. Digital and Analog Vertical Dimension Measurements: A Clinical Observational Study. *Int. J. Prosthodont.* 2021, *34*, 419–427. [CrossRef]
72. Simmons-Ehrhardt, T.; Falsetti, C.; Falsetti, A.B.; Ehrhardt, C.J. Open-Source Tools for Dense Facial Tissue Depth Mapping of Computed Tomography Models. *Hum. Biol.* 2018, *90*, 63–76. [CrossRef]
73. Schafer, H.; Prus, M.; Meyer, Q.; Submuth, J. Multiresolution attributes for hardware tessellated objects. *IEEE Trans. Vis. Comput Graph.* 2013, *19*, 1488–1498. [CrossRef]
74. Pfeiffer, J.; MacLeod, R.; Fornoff, P. InLAB MC X5 versus Cerec MC XL. *Int. J. Comput. Dent.* 2014, *17*, 317–321. [PubMed]

Anexos

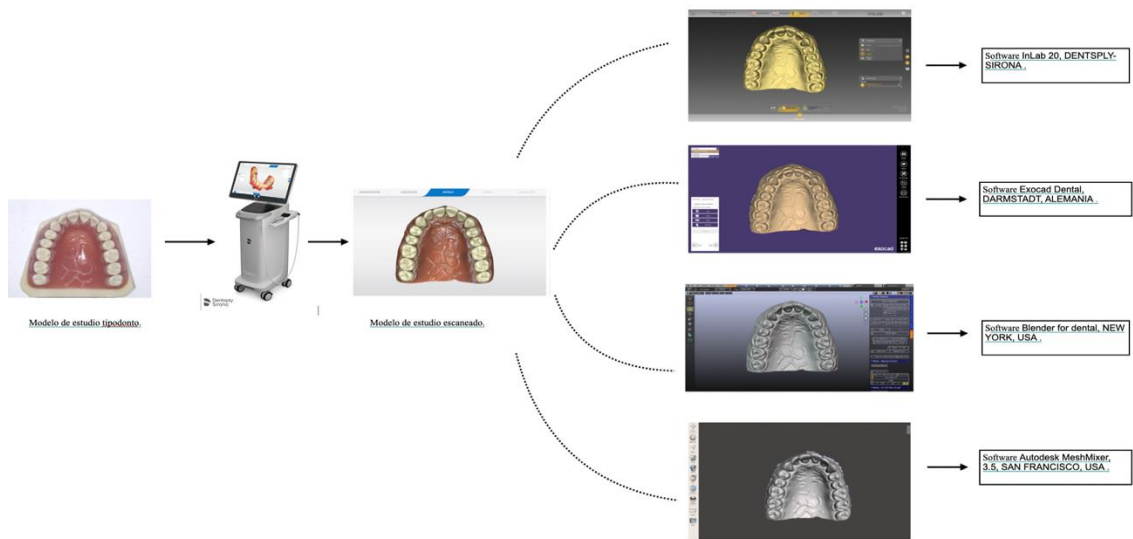


Figura 1: Proceso de digitalización.



Figura 2: Proceso de materialización y postratamiento.

Grupos emparejados de software		
Grupo 1	Exocad Dental, Darmstadt, Alemania.	Blender for dental, Nueva York, Estados Unidos.
Grupo 2	InLAB SW 22.0, Dentsply-Sirona, Bensheim, Alemania.	Exocad Dental, Darmstadt, Alemania.
Grupo 3	Autodesk Mesh Mixer, San Francisco, EE.UU.	Exocad Dental, Darmstadt, Alemania.
Grupo 4	Blender for dental, Nueva York, EE.UU.	InLAB SW 22.0, Dentsply-Sirona, Bensheim, Alemania.
Grupo 5	Autodesk Mesh Mixer, San Francisco, EE.UU.	Blender for dental, Nueva York, Estados Unidos.
Grupo 6	InLAB SW 22.0, Dentsply-Sirona, Bensheim, Alemania.	Autodesk Mesh Mixer, San Francisco, EE.UU.

Tabla 2: Determinación de los grupos a estudiar.

Superposición 3d

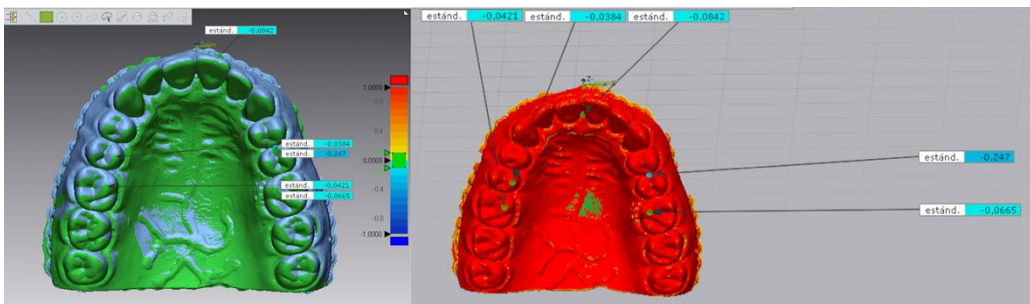


Figura 3: Grupo 1 STL, entre Exocad Dental, Darmstadt, Alemania y Blender for dental, New York, USA.

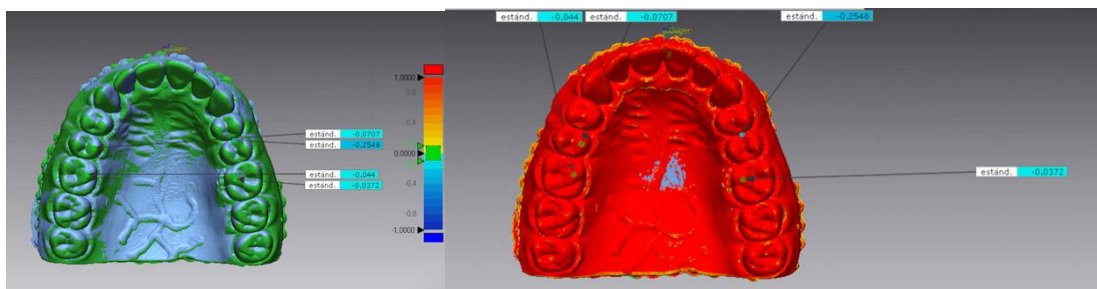


Figura 4: Grupo 2 STL, entre In Lab, Dentsply-Sirona, Alemania y Exocad Dental, Darmstadt, Alemania.

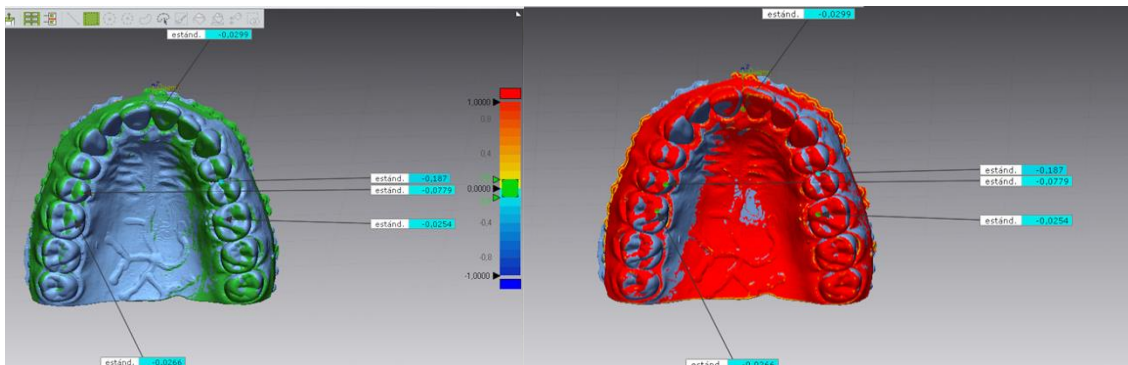


Figura 5: Grupo 3 STL, entre I Autodesk MeshMixer, San Francisco, USA y Exocad Dental, Darmstadt, Alemania.

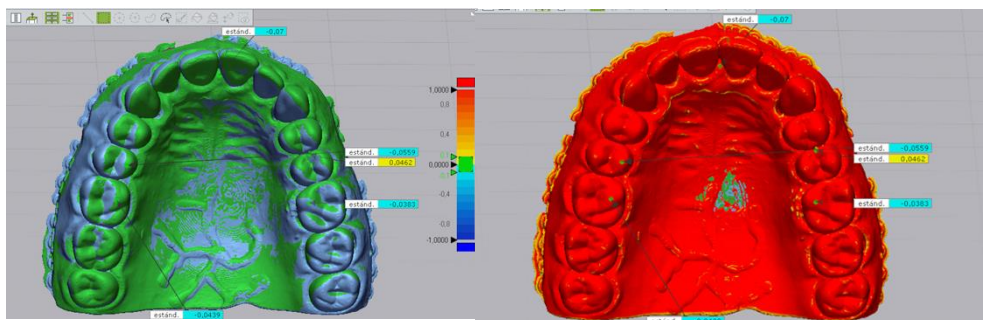


Figura 6: Grupo 4 STL, Blender for dental, New York, USA e In Lab, Dentsply-Sirona, Alemania.

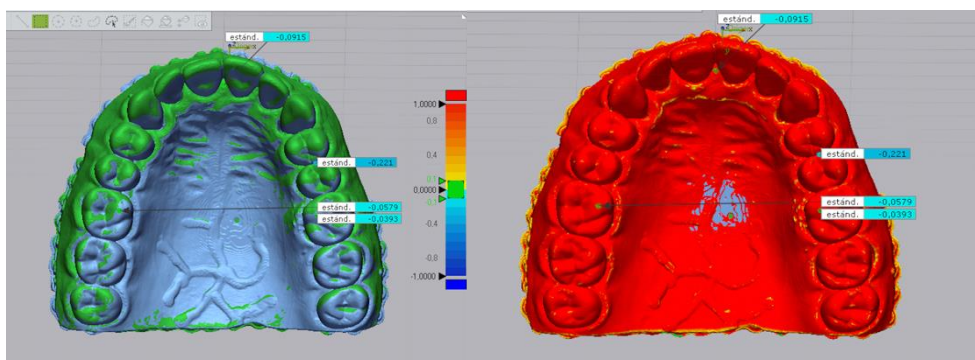


Figura 7: Grupo 5 STL, Autodesk MeshMixer, San Francisco, EE.UU. y Blender for dental, Nueva York, EE.UU.

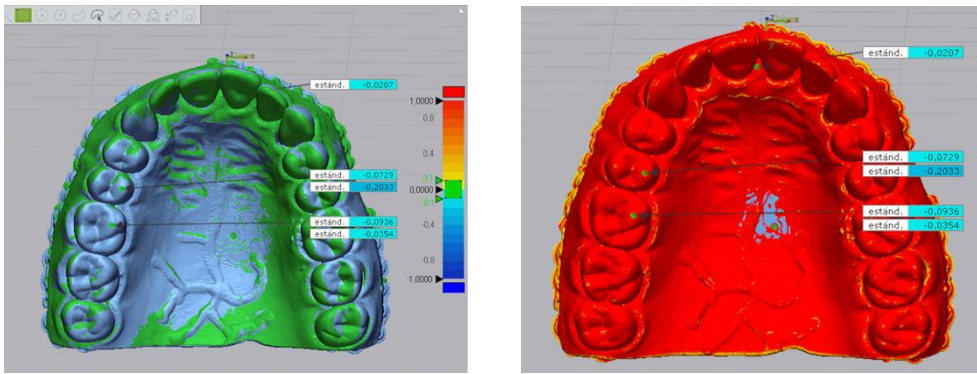


Figura 8: Grupo 6 STL, e In Lab, Dentsply-Sirona, Alemania y Autodesk MeshMixer, San Francisco, EE.UU.

Nota: Desviación entre el escaneo de los 2 modelos impresos diferentes (SDD), medida en (5) puntos, los valores específicos de desviación a lo largo de la línea objetivo se dan en leyendas amarillas. El rango de desviación a lo largo de todo el escaneo se gradúa en color

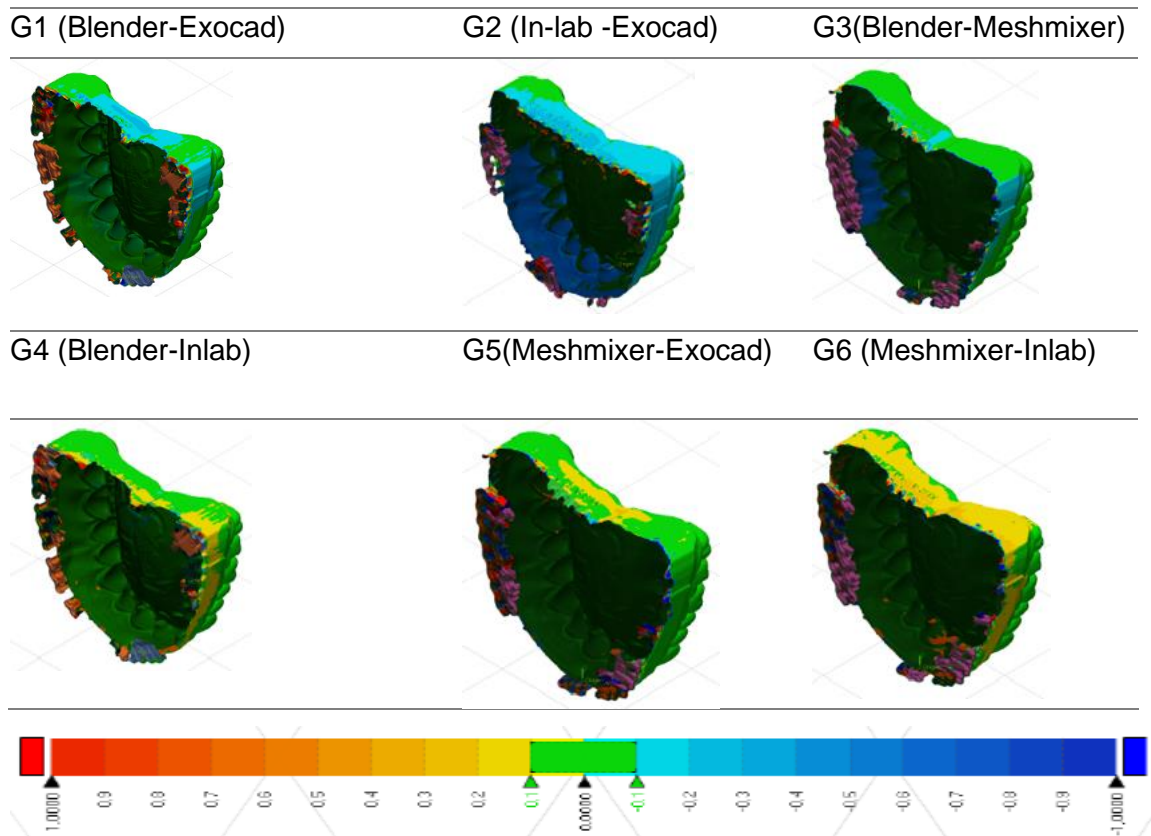


Figura 3: Mapa de colores; Comparación 3D. Superposición de las mallas digitales de los modelos impresos, con los diferentes (SDD); obtenido de la conformación de los diferentes grupos utilizando Geomagic control x. software (Carolina del Norte, EE. UU.).

Nota: las superficies de color amarillo a rojo tienen valores positivos; las superficies azules y azul oscuro tienen valores negativos y las superficies verdes están dentro del rango de tolerancia de $\pm 0,1$ mm.