
TRABAJO DE FIN DE GRADO

Sistemas digitales en la docencia práctica universitaria: Estudio comparativo de sistemas convencionales, sistemas digitales profesionales y sistemas digitales sencillos y de libre acceso

Sistemas dixitais na docencia práctica universitaria: Estudo comparativo de sistemas convencionais, sistemas dixitais profesionais e sistemas dixitais sinxelos e de libre acceso

The use of digital systems in practical dental teaching: Comparative study of conventional systems, professional digital systems, and simple digital systems.

Autor: Roberto Luis Godley Alipio

Tutor: David Suárez Quintanilla

Departamento: Cirugía y Especialidades Médico-Cirúrgicas

Julio 2021

Trabajo de Fin de Grado presentado en la facultad de Medicina y Odontología de la Universidad de Santiago de Compostela para la obtención del Grado de Odontología

Resumen

Los nuevos sistemas digitales obligan en la odontología y en la ortodoncia a un cambio radical tanto del ejercicio profesional como en la enseñanza universitaria. No es fácil introducir los nuevos sistemas digitales por los grandes gastos iniciales de los mismos, especialmente de los escáneres intraorales, los softwares y licencias de las diferentes casas comerciales, así como el precio de las impresoras profesionales.

Nuestro objetivo es intentar demostrar la fiabilidad de los sistemas simples: uso de softwares libre e impresoras no profesionales. Éstas últimas están al alcance de cualquier estudiante de último curso o de los nuevos odontólogos. Como objetivo secundario se pretende determinar si los sistemas más simples son suficientes para formar a las nuevas generaciones de estudiantes.

Resumo

Os novos sistemas dixitais obrigan na odontoloxía e na ortodoncia a un cambio radical tanto do exercicio profesional como na enseñanza universitaria. Non é doado introducir os novos sistemas dixitais polos grandes custos iniciais dos mesmos, especialmente dos escáner intraorais, os software e licenzas das diferentes casas comerciais, así como o prezo das impresoras profesionais.

O noso obxectivo e tentar de demostrar a fiabilidade dos sistemas sinxelos, do ssoftwares libres e das impresoras non profesionais. Estas últimas están ao alcance de calquer estudante de último curso ou dos novos odontólogos. Como obxectivo secundario preténdese determinar se os sistemas máis sinxelos son suficientes para formar as novas xeracións de estudantes.

Abstract

The new digital systems have made a paradigm shift in the way dental clinicians work and the way dentistry is taught. It is not easy to introduce new digital systems due to their large initial cost. Equipment and software have a big price tag, especially intraoral scanners, and professional 3D printers.

Our goal is to determinate the accuracy of a simple digital systems: using free software and a non-professional printer. These are affordable for dental students and professionals. As a secondary goal we intended to determine if a simple digital system is adequate to train the new generations of students.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
1. DIGITALIZACIÓN	10
FOTOGRAFÍA DIGITAL	11
RADIOLOGÍA DIGITAL	12
DETECTORES INDIRECTOS.....	13
DETECTORES DIRECTOS.....	13
TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA DE HAZ CÓNICO CBCT.....	14
ESPECTROFOTÓMETROS DIGITALES.....	16
ESCANER EXTRAORAL.....	16
ESCÁNER POR CONTACTO.....	17
ESCÁNER ÓPTICO.....	17
ESCANER INTRAORAL.....	18
Escáneres que requieren polvos	20
Escáner que no requieren polvo.....	21
MANIPULACION DE DATOS DIGITALES.....	21
DISEÑO 2D	22
DISEÑOS 3D	23
FABRICACIÓN CAD (MANUFACTURA ASISTIDA POR ORDENADOR)	23
LA IMPRESIÓN 3D.....	24
TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN	25
ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA).....	25
POLYJET O MULTIJET.....	26
MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM)	27
VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D.....	28
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	30
3 MATERIAL Y MÉTODOS	32
MODELOS DE YESO.....	32
MODELOS DIGITALES.....	32
MODELOS ESTEOLITOGRÁFICOS IMPRESOS	34

MEDIDAS	35
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	36
4 RESULTADOS	39
5 DISCUSIÓN.....	43
6 CONCLUSIÓN.....	46
7 BIBLIOGRAFÍA.....	48
8 ANEXOS	51
ANEXO I. CONSENTIMIENTO INFORMADO	52
ANEXO II. RESULTADOS CLOUDCOMPARE.....	57

1

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La tecnología digital está revolucionando la odontología a un ritmo sin precedentes. Los avances tecnológicos de las últimas décadas han cambiado los tratamientos y la batería de herramientas que existen a disposición de los clínicos para abordar sus casos. Para su correcta implementación se requiere de un aprendizaje específico, esto se debe a que las tareas que tienen lugar en el desarrollo de un tratamiento que incorpora técnicas digitales no se relaciona con sus equivalentes tratamientos convencionales (Jheon *et al.*, 2017; Oberoi *et al.*, 2018).

Desde 1980, la tecnología digital ha estado substituyendo de manera continua las señales analógicas. Las transmisiones de señales digitales en comparación con las señales analógicas son menos distorsionadas y más fácilmente duplicadas. Las señales digitales permiten una comunicación sin ruido y un almacenaje mucho más práctico. La odontología no es inmune a los cambios que estamos experimentando. La tecnología digital está más presente en un gabinete de lo que uno puede pensar. En una primera visita de un paciente, se registran datos de filiación en una base de datos. El paciente cubre un cuestionario en una tablet y al finalizar realiza una firma digital. Después, se toman fotografías clínicas y radiografías usando tecnología digital. En muchas ocasiones estas fotos se emplean para realizar un DSD (Digital Smile Design) utilizando programas como PowerPoint, Keynote o con programas dedicados. En todos los escenarios posibles existe una manipulación digital de la información. Los procedimientos que ocurren en un gabinete han ido cambiando hasta el punto de que técnicas dentales con décadas o incluso siglos de bagaje se están volviendo obsoletas de la noche a la mañana. Son técnicas que se encuentran embebidas en un ciclo en el que las nuevas tecnologías van reemplazando las antiguas de manera continua. La realidad líquida, es un término acuñado por el filósofo Zygmunt Bauman, en donde todo cambia constantemente y no existen referencias o valores sólidos a los que aferrarse. En esta situación, existe una necesidad imperiosa a mantenerse actualizado y adaptarse a las nuevas tecnologías ya que las referencias del pasado podrían convertirse en irrelevantes muy rápidamente. Esta adaptación requiere que los odontólogos evolucionen y aprendan

a coexistir con estas nuevas tecnologías para que se conviertan en crecimiento profesional y no en una amenaza a sus trabajos (Cousley, 2020; Rekow, 2020; Tamimi and Hirayama, 2020).

La tecnología digital tiene un fuerte impacto en la formación de los odontólogos. Las facultades de odontología son complejos sistemas sociales que dependen de un preciado capital humano. Este hecho, implica que el cambio y la innovación está supeditada al comportamiento de las personas. La incorporación de la tecnología en la sociedad y la adopción de esta ha sido descrita por el sociólogo Everett Rogers en su teoría de la Difusión de Innovaciones. En ella Rogers apuntaba que de entre los individuos de una sociedad habría gente innovadora, primeros seguidores, mayoría precoz, mayoría tardía y rezagados. Los individuos de entre un sistema social pueden ser clasificados dentro de uno de estos cinco grupos según su tendencia a la innovación. La distribución de los individuos en función a su tendencia a la innovación según Rogers seguía una distribución normal: En las colas encontraremos a los menos numerosos, los innovadores y a los rezagados y en el centro encontramos a las mayorías, que pueden ser precoces o tardíos (figura 1.1.). Rogers al integrar la variable del tiempo, desarrolló la siguiente premisa: Con el tiempo suficiente los desarrollos tecnológicos serían incorporados más ampliamente en las sociedades (Jacobsen, Michele, 1998; Cooper, 2019).

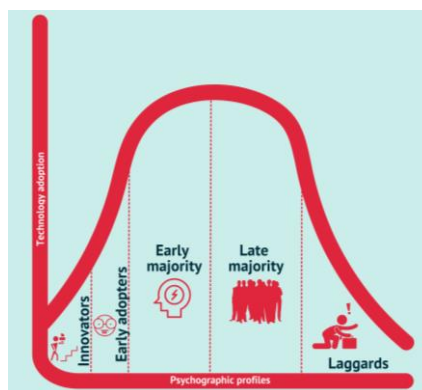


Figura 1.1. distribución de los individuos en función a su tendencia a la innovación. ¹

Los desarrollos más notables en el campo de la odontología han sido el CAD-CAM del inglés (Computer-aided Design y Computer-aided Manufacturing) y las tecnologías de digitalización. Estas tecnologías no son nuevas, su desarrollo se remonta a los años 70 y 80 pero tras diversas mejoras recientes han sobrepasado las técnicas convencionales en cuanto a calidad, eficiencia y costo. De manera paralela otras tecnologías se han revolucionado y han influenciado y permitido la incorporación digital a la odontología. Estamos hablando de: la reducción del tamaño de los sensores, la inteligencia artificial (AI), la realidad virtual y la realidad aumentada, la robótica, la impresión 3D, el “BIG DATA”, internet, nanotecnología, ingeniería biomédica, conectividad y la reducción del costo del almacenamiento de datos entre otros (Oberoi *et al.*, 2018; Rekow, 2020; Tamimi and Hirayama, 2020).

Dentro de la tecnología de fabricación asistida por ordenador encontramos la impresión 3D y el fresado digital, estas técnicas están substituyendo las manos habilidosas de los protésicos dentales. Es posible que los potentes softwares empezarán a substituir más que complementar las habilidades intelectuales de los clínicos. Las herramientas de digitalización como el CBCT (cone beam computerized topographers) y los escáneres ópticos permiten realizar una digitalización de la anatomía dental y craneofacial de manera rápida, fiable y rentable. La digitalización es el primer eslabón del flujo digital que posibilita y facilita diversidad de opciones: permite la planificación virtual, facilita la comunicación con otros profesionales en casos multidisciplinarios y con el propio paciente. Facilita la gestión ante un compromiso estético o en el diseño de sonrisa. La accesibilidad a las tecnologías está en aumento, y está cobrando cada vez más peso la automatización del flujo digital (Dawood *et al.*, 2015; Rekow, 2018; Rapone *et al.*, 2020) .

Para mejor visualización del alcance de la tecnología digital en la odontología en la figura 1.2., se muestra el flujo de información entre las diferentes áreas, este flujo como se ha descrito tiene lugar de manera sencilla, eficiente y precisa.

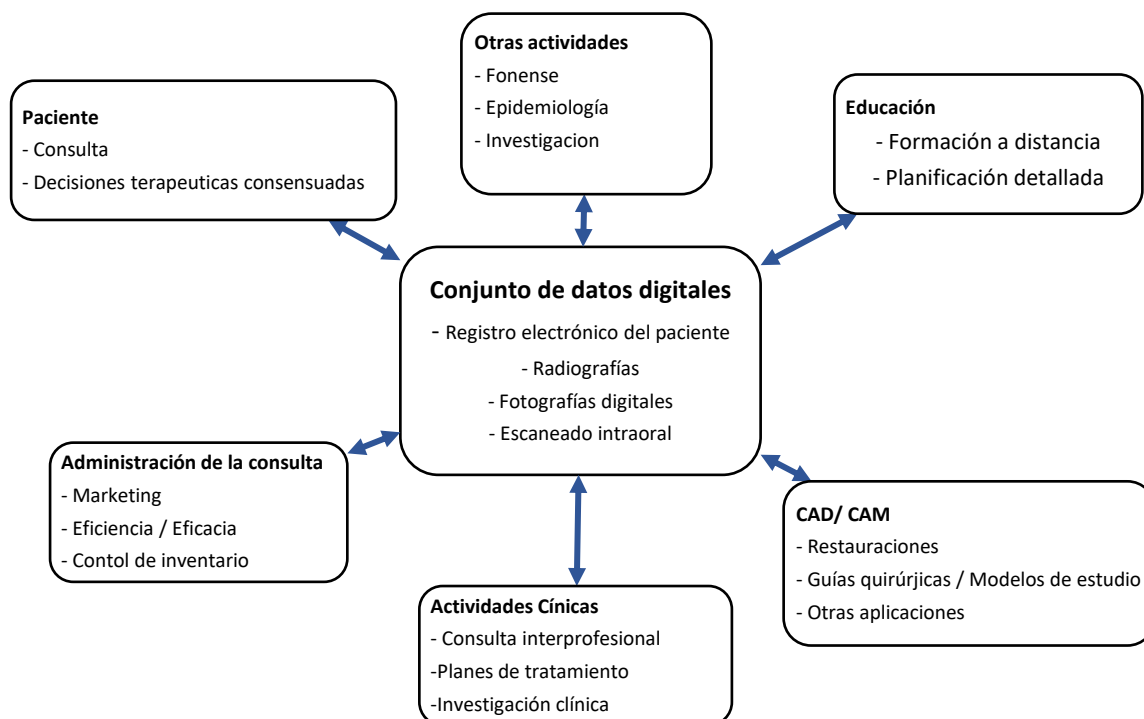


Figura 1.2. Esquema de interconexión y dirección de flujo de información digital entre las diferentes áreas de la odontología traducido de Rekow ED 2019 (Rekow, 2020).

1. DIGITALIZACIÓN

La digitalización es el primer eslabón implicado en el flujo digital. Existe diversidad de procedimientos dentales que permiten esta primera etapa. Consiste básicamente en convertir un elemento físico bidimensional 2D o tridimensional 3D en un fichero electrónico codificado en dos únicos dígitos (0 ó 1). La tecnología digital se emplea principalmente de dos maneras: Por un lado, el uso de aparatos electrónicos que presentan procesadores computarizados y por otro lado estos dispositivos producen o generan ficheros que pueden ser interpretados, editados, manipulados y combinados con otro tipo de fichero digital (Tamimi and Hirayama, 2020).

FOTOGRAFÍA DIGITAL

La fotografía es una herramienta fundamental en odontología, juega un papel importante en el diagnóstico, en el plan de tratamiento, documentación y registro, comunicación y respaldo de información. Ayuda a la realización de diagnósticos más precisos. Mejora la comunicación con el paciente y con el laboratorio en cuanto a la toma de decisiones y opciones de tratamiento. Pueden evaluarse de manera sencilla el color, textura, tamaño, línea de sonrisa y forma facial. En tratamientos multidisciplinarios, permite guiar a los diferentes miembros del equipo para cumplir los objetivos establecidos. Tiene un papel fundamental con fines académicos. Finalmente debemos citar que tiene un alto valor en marketing (Fradeani, 2006; Tamimi and Hirayama, 2020).

En la fotografía digital, la película es substituida por un sensor electrónico. Este sensor está formado por miles de fotocélulas capaces de transformar fotones en señales eléctricas. Cada fotocélula transforma la luz de cada punto en electrones, esto genera una interpretación digital y bidimensional de la imagen real. Los sensores más empleados en las cámaras digitales son CCD (charge-coupled device) o CMOS (complementary metal-oxide semiconductor). Las fotos digitales pueden ser observadas inmediatamente en una pantalla y guardadas como ficheros digitales en diferentes formatos. Los diferentes formatos presentan características diferentes siendo RAW el formato nativo tal y como la captura el sensor. Con tiene toda la información captada sin compresión. Es el formato ideal para la fotografía dental y la única aceptada en para usos legales. Es el formato que más calidad brinda, pero requiere de programas específicos para su manejo (visualización, procesado y modificación) y son ficheros pesados. Existen otros formatos muy empelados por su fácil manejo como son JPEG, PNG, GIFF, TIFF y BMP. Todos estos presentan algún tipo de compresión, en detrimento de la calidad, permiten generar ficheros de menor tamaño (Tamimi and Hirayama, 2020).

La fotografía es indispensable para el odontólogo, está al alcance de cualquiera que disponga de un teléfono inteligente o una cámara compacta, aunque las cámaras D-SLR (digital single lens reflex) profesionales son el equipo que permite imágenes de mejor calidad sin la necesidad de postprocesamiento (Fradeani, 2006).

Existen seis elementos clave para una buena foto dental: Luz, exposición, profundidad de campo, fondo, correcto posicionamiento del paciente y correcta visibilidad del campo a fotografiar. Para una buena foto, se necesita una fuente de luz apropiada y un objetivo acorde a cada caso. La lente permite enfocar las áreas de interés, los dientes, tejidos periodontales y otras estructuras adyacentes a una distancia razonable y cómoda para el paciente y para la persona que maneja la cámara. Para fotografías extraoral, una lente de 50mm permite una gran apertura del diafragma que se traduce en fotos más brillantes. Las lentes de 100 o 105 mm son perfectas para fotos intraorales por su radio de magnificación. Las lentes para uso dental se configuran típicamente entre 1:1 para registros de dientes específicos hasta 1:10 para disparos de retratos de cara completa. Es frecuente la necesidad de iluminación suplementaria, para fotografiar zonas oscuras de la boca, especialmente en fotos intraorales. Las configuraciones que han mostrado mejores resultados son el flash circular o anular y los flashes laterales o twin-flash (Fradeani, 2006).

El registro fotográfico se compone tanto de fotos extraorales como intraorales

- Fotografías extraorales:
 - Rostro y sonrisa (Frontal con labios en reposo, frontal sonriendo, lateral y tres cuartos)
- Fotografías intraorales:
 - Frontal
 - Lateral derecha e izquierda.
 - Oclusal superior e inferior

RADIOLOGÍA DIGITAL

La introducción de la radiografía digital en la odontología ha sido masiva en las últimas décadas. Esta tecnología ha eliminado varias desventajas asociadas con la radiografía convencional como el revelado químico o la producción de residuos tóxicos. Además, presenta varias ventajas en cuanto a almacenaje digital y al post-procesado digital que permite mejorar la imagen. En la radiografía digital al igual que en la

convencional, un haz de rayos X atraviesa los diferentes tejidos, a su paso el haz es atenuado (absorbido y dispersado) y el haz restante es proyectado sobre un detector (Whaites *et al.*, 2020).

Existen dos tipos de detectores digitales:

DETECTORES INDIRECTOS

Su funcionamiento se basa en el principio de fotoluminiscencia, el haz de rayos que alcanza el detector estimula una placa que contiene fósforo fotoluminiscente. Esta placa absorbe y guarda esa energía formando una imagen latente. La placa debe revelarse en un lector digital, en donde al ser expuesta a una luz de una longitud de onda diferente la placa libera la energía almacenada como fotones en un fenómeno que recibe el nombre de fosforescencia. La luz emitida es captada para generar señales eléctricas que se convierten en una imagen digital. Este tipo de radiografía digital presenta una placa de fósforo, de poco grosor y flexible que por su tamaño son de sencillo empleo en radiografías intraorales (Tamimi and Hirayama, 2020; Whaites *et al.*, 2020).

DETECTORES DIRECTOS

Entre los sensores de estado sólido para radiografías intraorales encontramos los sensores CCD y CMOS. Estos sensores presentan una fina matriz de detectores fotosensibles con un circuito electrónico, la parte activa del sensor tiene un tamaño de una placa radiográfica intraoral. Los fotones de haz de rayos que inciden sobre el sensor producen una señal carga eléctrica que se convierte en una señal digital para representar en una escala de grises los valores de atenuación de los diferentes tejidos. Presentan la ventaja de visualizar la imagen en tiempo real con una alta calidad. Los detectores tienen el inconveniente de ser incómodos por su tamaño y rigidez.

Para radiografías extraorales existen detectores de panel plano. Estos se usan para formatos más grandes como las radiografías panorámicas o las radiografías cefalométricas. El detector presenta una capa de un material centellador, esto es, exhibe luminiscencia cuando es atravesado por radiación ionizante. Este material absorbe parte de la energía de la partícula y emite en forma de un pequeño destello de luz. Esta luz es captada por una matriz de fotodiodos para generar una imagen digital. Son sensores con una gran resolución, necesitan bajas dosis al ser sensores muy eficientes. Presentan un coste y mantenimiento elevado (Tamimi and Hirayama, 2020; Whaites *et al.*, 2020).

TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA DE HAZ CÓNICO CBCT

El primer CBCT de uso dental se introdujo dos décadas después de la tomografía computarizada CT convencional. El CBCT permite hacer un examen radiográfico sin distorsión o magnificación significativa y presenta varias ventajas frente al CT convencional: técnica más rápida, dosis de radiación menor y menor costo (Tamimi and Hirayama, 2020; Whaites *et al.*, 2020).

El uso del CBCT tiene particular interés en el uso odontológico en cuanto a: implantología, planificación de cirugías, endodoncia, cirugía maxilofacial y en la ortodoncia. Su uso se ha extendido mucho y con ello se la creación de protocolos acerca de las indicaciones del uso del CBCT. Su uso debe ser justificado y seguir los principios de ALARA (as low as reasonably achievable) para controlar los niveles de radiación que reciben los pacientes (Whaites *et al.*, 2020).

El CBCT se basa en un principio muy similar al de la radiografía convencional, esto es, la generación de un haz de rayos X al hacer saltar los electrones entre el cátodo y el ánodo en un tubo al vacío. El ánodo es el punto en donde colisionan los electrones y el punto de salida del haz, que es filtrado y colimado limitando su área de exposición. El área de exposición determina el Field of View (FOV) el campo de visión. Esta FOV se puede ajustar para reducir la radiación recibida por el paciente, así como modificar la calidad y resolución de la imagen. En la mayoría de los CBCT presentan un brazo con forma de C que contiene tanto el emisor de rayos como el sensor uno en cada extremo

del brazo. Este brazo rota en el plano horizontal alrededor de la cabeza del paciente, que se encuentra inmóvil en posición sentada o de pie Figura 1.3. (Whaites *et al.*, 2020).

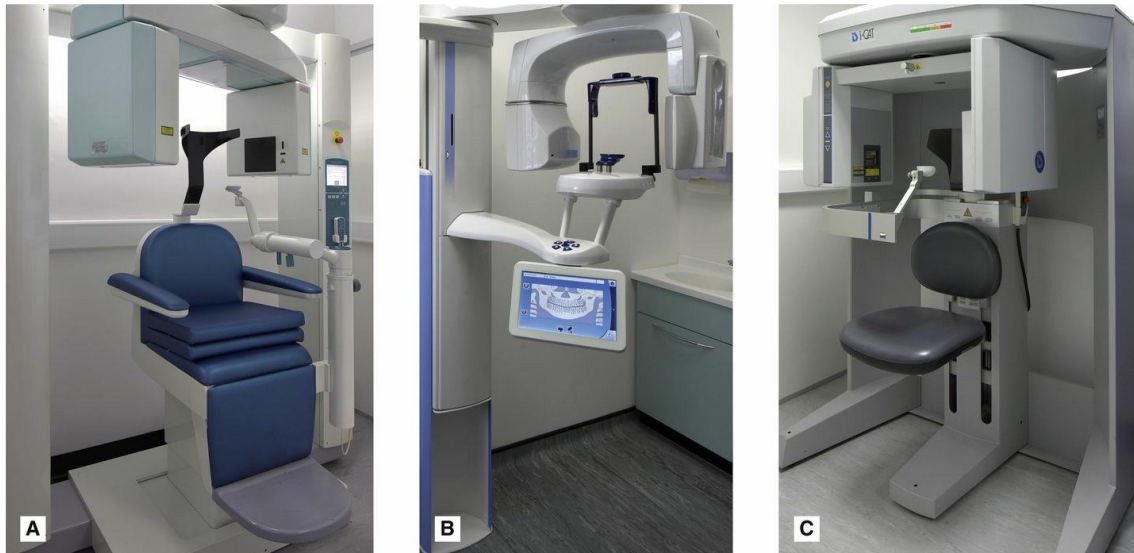


Figura 1.3. Ejemplos de tres dispositivos CBCT: **(A)** 3D Accuitomo (J. Morita, Japan), **(B)** ProMax (Planmeca, Helsinki, Finland) **(C)** i-CATTM (Kavo Kerr, USA) (Whaites *et al.*, 2020).

La generación de la imagen ocurre durante la rotación del sensor y emisor alrededor del objeto. Se capturan varios cientos de proyecciones radiográficas 2D, que generan archivos DICOM (digital imaging and communications on medicine) que permiten reconstruir modelos 3D de los objetos escaneados. Existen varios parámetros que se pueden ajustar en el dispositivo: ángulo de rotación, tiempo de exposición, kilovoltage, corriente, tamaño de voxel y FOV. La calidad de la imagen viene definida por cuatro parámetros importantes. Resolución espacial, resolución de contraste, ruido y presencia de artefactos. La resolución espacial es la habilidad para distinguir estructuras pequeñas en una imagen. Resolución de contraste, es la habilidad de reconocer tejidos de diferentes densidades en una imagen. Los CBCT presentan una escala de 4096 grises al poseer una escala de 12bit. Para las reconstrucciones 3D, los píxeles de las proyecciones son agrupados para formar un voxel. El tamaño del voxel depende del tamaño del píxel y el grosor de los cortes. Cuanto menor es el tamaño del voxel y FOV mayor será la calidad de la imagen. El CBCT tiene un papel muy importante en la implantología y recientemente en la endodoncia y en la ortodoncia (Whaites *et al.*, 2020).

ESPECTROFOTÓMETROS DIGITALES

Los espectrofotómetros son dispositivos que permiten determinar el color y tono de los dientes. La medición del color usando tecnologías digitales presenta muchas ventajas sobre las técnicas visuales clásicas con guías de color (VITA Classic). Proporcionan datos y medidas objetivas y han demostrado ser un 33% más exactos y 94% más precisos. En la odontología restauradora en sectores anteriores la determinación del color con espectrofotómetros es una práctica recomendada (Jarad, Russell and Moss, 2005; Chu, Trushkowsky and Paravina, 2010).

Estos dispositivos miden la energía de la luz reflejada por un objeto. Se componen de una fuente de luz, un medio que descompone el espectro de luz y un sistema óptico de medición con un detector que convierte las señales en información interpretable. Las señales obtenidas son comparadas con una base de datos de colores para producir información clínicamente más sencilla de manejar. Ofrecen datos con una precisión que el ojo humano no percibe, a través de las coordenadas L x C x H (Luminosidad, Saturación y Tono) dentro de un espacio de color. Entre las aplicaciones clínicas encontramos: evaluar la efectividad de un tratamiento de blanqueamiento, evaluar diferencias de color entre restauraciones. Es una herramienta muy usada en investigación por su carácter objetivo (Jarad, Russell and Moss, 2005; Chu, Trushkowsky and Paravina, 2010; Tamimi and Hirayama, 2020).

ESCANER EXTRAORAL

Un escáner 3D es un dispositivo que permite captar y procesar información de la superficie de un objeto para recrear una representación tridimensional digital. Actualmente existen dos maneras de conseguir una representación digital 3D de la dentición y de los tejidos adyacentes, de manera directa: con el uso de escáneres

intraorales o de manera indirecta: escaneando modelos o impresiones. Este último emplea escáneres extraorales (González de Villaumbrosia *et al.*, 2016).

Los escáneres extraorales pueden ser por contacto u ópticos. Los escáneres por contacto registran la información de la superficie de los modelos al contactar el dispositivo de detección con el modelo. Los escáneres ópticos, captan imágenes de la superficie de los modelos mientras son iluminados con luz estructurada o láser. Los escáneres de contacto presentan mayor precisión que los ópticos pero un tiempo de digitalización muy elevado (González de Villaumbrosia *et al.*, 2016; Tamimi and Hirayama, 2020) .

ESCÁNER POR CONTATO

Este tipo de escáner fueron los primeros en aparecer, son lentos, pero presenta una precisión muy alta. Hoy en día su uso es más reducido, empleándose para casos especiales en implantes y en la investigación. El escáner tiene una punta de un material muy resistente (diamante o rubí) que entra en contacto continuo al ser arrastrado sobre la superficie a medir. Esta manera de recoger la información no se ve influenciada por sus características ópticas, pero si por sus características físicas (dureza) de la superficie del objeto a escanear.

ESCÁNER ÓPTICO

Los escáneres ópticos usan ondas electromagnéticas para captar la información del modelo, típicamente luz. La velocidad de lectura es mucho mayor que el de los escáneres de contacto ya que lo único que incide sobre el modelo es la luz, así mismo no se producen distorsiones sobre el modelo en el proceso de lectura. La calidad de lectura puede verse afectada por las propiedades ópticas del modelo. Superficies

translúcidas o muy brillantes producen lecturas alteradas porque devuelven al lector tanto luz reflejada como refractada. Los escáneres que permiten recoger una superficie completa en una sola lectura son rápidos y precisos. Existen varios tipos de escáneres extraorales ópticos:

- Escáner de luz: un fino haz de luz es proyectado sobre el modelo, este haz se verá distorsionado si la observamos desde un punto que no se encuentra a la altura del foco de luz: la distorsión permite hacer una reconstrucción 3d del objeto.
- Escáner de luz láser. Este tipo de escáneres proyectan un punto sobre el objeto, su posición se registra con un conjunto de cámaras que permiten triangular su posición. Para acelerar el proceso, también pueden proyectar una línea (González de Villaumbrosia *et al.*, 2016; Tamimi and Hirayama, 2020).

ESCANER INTRAORAL

En 1980 Mörmann y Brandestini introducían el primer escáner intraoral. De manera independiente y paralela Françoise Duret había estado desarrollando la misma tecnología desde 1971. Durante muchos años el único escáner disponible al mercado era el CEREC. Sin embargo, hoy la industria incorpora nuevos modelos y mejoras con rapidez. En el International Dental Show del año 2015 se presentaron más de una docena de escáneres intraorales basada en diferentes tecnologías. Los diferentes sistemas difieren en aspectos como el modo de funcionamiento, la fuente de luz la necesidad de contraste, el procedimiento operativo y el formato de salida. De entre las tecnologías más usadas encontramos las siguientes (Richert *et al.*, 2017; Rapone *et al.*, 2020; Suese, 2020).

- Tecnología basada en la proyección y captura de luz.

Se proyecta una luz estructurada (blanca, roja o azul) desde el sensor que al ser capturada permite calcular su distancia por triangulación. La luz proyectada puede formar un punto o puede proyectarse formas alternativas como líneas o

retículas. La superficie puede reconstruirse mediante la compilación de imágenes o de video o mediante el análisis de ondas.

- Tecnología basada en el cálculo de la distancia del objeto. Dentro de esta tecnología encontramos:
 - Triangulación: se basa en que la posición de un punto de un triángulo (el objeto) puede ser calculada si conocemos la posición y los ángulos de dos sensores o puntos de vista. Estos dos puntos de vista pueden ser dos sensores independientes o un único detector con un prisma o que captura el objeto en dos puntos diferentes en el tiempo.
 - Tecnología confocal: la técnica de fotografía confocal se basa en la adquisición de imágenes enfocadas y desenfocadas a profundidades o distancias determinadas. La lente del sensor tiene una distancia focal característica y por tanto analizando la parte nítida de la imagen puede inferir a que distancia está el objeto. Los tejidos pueden ser recreados a partir de imágenes tomadas a diferentes valores de enfoque y apertura desde diferentes ángulos del objeto.
- Active Wavefront Sampling (AWS): muestreo activo de frente de onda. Esta tecnología tiene una cámara y un módulo de apertura que se sitúa descentrada. El módulo de apertura gira en círculo alrededor del eje óptico y produce la rotación de los puntos de referencia. La distancia y la profundidad se calculan a través del análisis de la trayectoria de cada uno de los puntos de referencia.
- Captura de video 3D en movimiento o vídeo estereofotogramétrico: el video en movimiento 3D utiliza el mismo principio que la visión binocular y requiere dos fuentes, blanco y luz láser. Dos o varias cámaras de vídeo HD, separadas, capturan vistas precisas pero diferentes de las superficies escaneadas.
- Imágenes paralelas confocal u holografía conoscópica: los escáneres confocales paralelos proyectan un rayo láser a través de un agujero de alfiler. El haz reflejado pasa a través de un cristal birrefractante y se dirige hacia un

sensor CCD a través del agujero de alfiler, eliminando así la luz reflejada que está situada fuera del plano focal. De esta forma, sólo se registran los puntos bien definidos dentro del plano focal, optimizando así la precisión de la impresión (Benítez, 2014).

Independientemente de la tecnología, un escáner intraoral mide ópticamente la superficie de los dientes y tejidos adyacentes directamente en la boca y elabora un modelo 3D. Este modelo se construye a partir de múltiples imágenes o videos, que se unen o cosen encajando los registros. Este proceso introduce errores, pero son corregidos por un programa a través de algoritmos específicos. Una vez procesadas las imágenes por el programa informático se genera una nube de puntos. Posteriormente se triangulan estos puntos, conectándolos entre sí y formando una superficie 3D denominada Mesh. La resolución del modelo depende del número de triángulos que representan la superficie. Esta resolución depende en gran medida del software del equipo. Existen otros factores que afectan a la calidad de la impresión digital, entre los más descritos encontramos la experiencia del operador y la presencia de saliva o sangre (Benítez, 2014).

Los escáneres intraorales pueden ser clasificados en dos grupos: Los que requieren el uso de un polvo sobre la superficie a escanear y los que no requieren dicho recubrimiento.

Escáneres que requieren polvos

Fueron los primeros en aparecer. Por las características de sus sensores, era necesario eliminar o reducir la reflexión de la luz sobre los tejidos. Por ello se recubrían de un fino polvo blanco de óxido de titanio. Dependiendo del tipo de escáner podrían requerir un recubrimiento total o parcial. Se tratan de escáneres muy precisos, pero presentan inconvenientes como la incomodidad del paciente por la presencia de polvo o alteraciones de la precisión por demasiado o insuficiente polvo.

Escáner que no requieren polvo

Existen diversas tecnologías que permiten escanear sin la necesidad de óxido de titanio en polvo. La ausencia de polvo permite recoger información del color de las superficies. En algunas ocasiones puede ser necesario el óxido de titanio en polvo para escanear superficies metálicas muy brillantes como los retenedores de algunas prótesis removibles o sobre restauraciones metálicas. La tecnología para interpretar la información de la superficie dental varía en función de los diferentes escáneres intraorales. La microscopia confocal, fotografía la superficie de los dientes a la vez que se proyecta luz estructurada, esta luz será reflejada acorde con la superficie hacia el sensor. El dispositivo es capaz de analizar las imágenes que recibe el sensor y convertirlas en un modelo digital.

Sea cual sea la tecnología empleada, la impresión digital presenta una serie de ventajas sobre los métodos convencionales con elastómeros en términos de: Confortabilidad del paciente, mejor comunicación con el paciente y el laboratorio y demás clínicos a la vez que se eliminan problemas relacionados con las modificaciones dimensionales de los materiales (van der Meer *et al.*, 2012; Benítez, 2014; Berrendero, 2017).

2. MANIPULACION DE DATOS DIGITALES

En los sistemas CAD/CAM fundamentalmente se distinguen tres pasos. Los anteriores epígrafes, agrupados en (digitalización) han permitido generar lo que conocemos como “conjunto de datos digitales”. Este primer paso se denomina adquisición de datos. Estos deben ser procesados, se realizan una serie de manipulaciones a través de programas informáticos para lograr diferentes diseños. Esta etapa se denomina “Diseño por ordenador”. La tercera etapa la constituye la fabricación por ordenador.

Como se ha visto, la digitalización ha evolucionado a pasos agigantados al igual que la tecnología disponible para la fabricación. La etapa intermedia en la que participan los programas de diseño se ha convertido en una etapa crucial para los sistemas CAD/CAM. Inicialmente los programas eran genéricos, es decir, no fueron diseñados con fines odontológicos, por tanto, eran ineficientes y presentaban numerosas limitaciones. Con la aparición de programas específicos para aplicaciones dentales se abrió una nueva realidad al ser eficientes y con un potencial muy elevado.

Los nuevos programas integran datos de múltiples fuentes y presentan una interfaz mejorada. Incorporan módulos muy robustos en estética, diseño de sonrisa, librería de dientes, selección de color y colocación de dientes para prótesis. También integran información de la articulación temporomandibular para reproducir la oclusión dinámica (Rekow, 2020; Tamimi and Hirayama, 2020).

DISEÑO 2D

Los programas DSD ayudan a que los tratamientos sean predecibles, estéticos y funcionales. La odontología restauradora debe integrar la estética, la dinámica de sonrisa, la masticación y la fonación del paciente. El DSD persigue dicho objetivo a través de fotos y videos tanto intraorales como extraorales. Tiene un carácter de diagnóstico y de planificación reversible y susceptible de cambios durante la ejecución del tratamiento. Contribuye a una mejor comunicación con otros miembros de un equipo multidisciplinar y con el propio paciente. Es una herramienta válida para documentar y archivar casos clínicos de manera ordenada. Es una herramienta que debe ser manejada con criterio para conseguir las necesidades y cumplir las expectativas de los pacientes. De manera intrínseca, es un concepto que requiere un aprendizaje, un entrenamiento y una comprensión de sus fundamentos, objetivos y secuencia.

Existen diversidad de programas en el mercado, desde los más simples como Keynote, PowerPoint y Photoshop que permiten análisis en dos dimensiones, y programas más específicos como: Real View de 3Shape, Nemotec, Smile design de CEREC que permiten un flujo de trabajo más sencillo.

El diseño de sonrisa digital 2D está siendo reemplazado progresivamente por el análisis 3D de la sonrisa. Además de incorporar la variable profundidad, integra imágenes 3D de la cara y de la sonrisa del paciente. Esto permite guiar de manera más armónica las restauraciones y conseguir tratamientos más predecibles (Fradeani, 2006; Tamimi and Hirayama, 2020).

DISEÑOS 3D

Los archivos 3D obtenidos en la primera etapa de digitalización pueden ser importados en un programa de diseño por ordenador. Estos tienen herramientas para manipular, editar y diseñar los modelos tridimensionales de las futuras restauraciones o dispositivos. Estos programas pueden ser de libre acceso o por la contra, pueden necesitar una licencia de uso. La mayoría de los programas de diseño presentan una versión estándar que permite funcionalidades básicas. Estas versiones pueden complementarse con módulos independientes para ampliar sus funcionalidades y capacidades. Destacamos los siguientes módulos (Rekow, 2018):

Módulo de Diseño de sonrisa 3D	Módulo de Prótesis completa
Módulo Encerado virtual	Módulo de Prótesis parcial
Módulo Librería de dientes	Módulo de Implantes
Módulo Creador de modelos	Módulo de Barras
Módulo de Provisionales	Módulo de Férulas
Módulo de Articulador virtual	Módulo de ortodoncia.

3. FABRICACIÓN CAD (MANUFACTURA ASISTIDA POR ORDENADOR)

Como se ha mencionado anteriormente, la fabricación digital es un área importante en la odontología. En el flujo digital, la fabricación procede y deriva de las etapas de digitalización y diseño por ordenador. La tecnología empleada en esta etapa

puede clasificarse en sustractiva o aditiva. Los métodos sustractivos incluyen el fresado, el maquinado y la ablación por láser mientras que los métodos de adición incluyen la impresión 3D y la fusión por láser. Existen diversidad de materiales y equipos disponibles en el mercado de aplicación en odontología, estas permiten la fabricación de cubetas individualizadas, guías quirúrgicas, prótesis fija o removible ya sea definitiva como provisional, así como la fabricación de dispositivos ortodóncicos o maxilofaciales (Dawood *et al.*, 2015; Oberoi *et al.*, 2018; Cousley, 2020; Park *et al.*, 2020).

LA IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D es un tipo de fabricación aditiva que permite construir objetos tridimensionales capa a capa, es decir, el material de impresión se deposita de manera sucesiva hasta que se forma el objeto. Esta tecnología está creciendo y desarrollándose muy rápidamente, y su uso se ha extendido a la educación, automoción, artes, arquitectura y medicina. La impresión 3D se desarrolló en 1980 y en 1990 fue empleada por primera vez para tratar pacientes. Sin embargo, el uso en odontología es relativamente reciente, pero esta tecnología está ganando potencial en casi todos sus campos. Esta tendencia se refleja por el aumento del número de publicaciones acerca de este tópico. Las publicaciones sobre impresión 3D en general, en medicina y en particular en odontología han incrementado en los últimos diez años. Dentro de las especialidades odontológicas en que la impresión 3D ha tomado más peso son: la cirugía oral y la prostodoncia, seguido por la ortodoncia y en menor medida en la periodoncia y endodoncia. Esta tecnología se caracteriza por la posibilidad de crear productos individualizados de manera eficiente a pequeña escala, con una facilidad para compartir y procesar los datos digitales. Pero como toda transformación, el paso de flujos de trabajo convencionales a digitales tiene un coste y debe ser analizado (Oberoi *et al.*, 2018; Cousley, 2020).

TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN

Existe una gran cantidad de tecnologías de impresión 3D disponibles para uso dental y médico. De entre las más comunes encontramos: La Estereolitografía (SLA), proyección digital de luz, (DLP), polijet o multijet, la sinterización selectiva por láser (SLS) y el modelado por deposición fundida (FDM). Las diferencias entre las distintas técnicas de impresión son el material empleado y la manera en que se depositan las capas para formar el objeto (Dawood *et al.*, 2015).

ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)

La construcción de los objetos se realiza a partir de una resina líquida que se polimeriza con luz o láser ultravioleta. La tecnología SLA fue desarrollada en 1986 y fue la tecnología que incorporaba la primera impresora 3D comercial. Los sistemas SLA tienen una cubeta de resina que es fotosensible, una fuente de luz, que puede ser una luz o láser UV y una plataforma de impresión (Figura 1.4.). Los objetos se forman capa a capa, esta tiene un grosor de entre 50-200 μm . En cada capa, la luz o láser UV cura y endurece una fina capa de la resina en las zonas específicas definidas por el diseño CAD. Posteriormente, la plataforma de impresión avanza para recibir la siguiente capa que será adherida a la anterior en su proceso de polimerización. Este proceso se repite hasta que se ha completado el objeto. Este se retira de la plataforma de impresión y debe ser procesada, este post-procesado puede incluir la retirada de soportes, polimerización adicional o pueden realizarse tratamientos de la superficie (imprimado, pintado,) para modificar la rugosidad superficial. Dentro de la tecnología estereolitografica encontramos la variante DLP. Esta es similar a la SLA, pero el objeto se construye en posición invertida y con una fuente de luz proyectada. La tecnología DLP usa un proyector de luz como fuente que se proyecta sobre toda una capa, esto resulta en impresiones más rápidas y baratas que la tecnología SLA.

La precisión de la tecnología SLA es superior a otras tecnologías de impresión 3D y permite la impresión de geometrías complejas con alto detalle. Se consiguen resoluciones de 5 μm en el eje X/Y y 10 μm en el eje Z, aunque pueden estar

influenciadas por parámetros como: longitud de onda, potencia, tiempo de exposición y el grosor de cada capa.

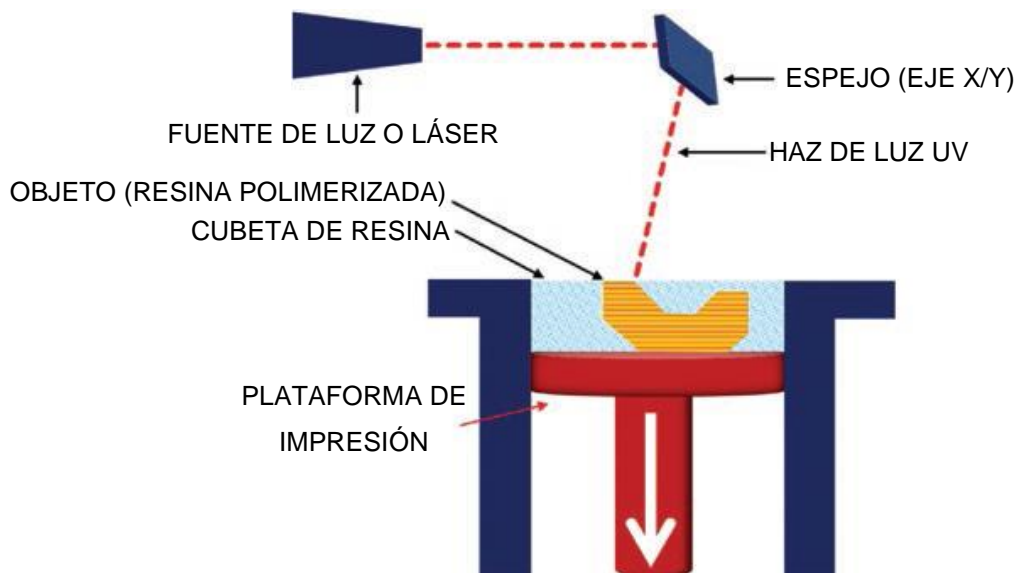


Figura 1.4. Esquema de los elementos que componen una impresora con tecnología SLA(Tamimi and Hirayama, 2020).

Los materiales empleados en odontología para imprimir con tecnología SLA incluyen resinas acrílicas, silicona y resinas epoxi. Entre las más usadas encontramos: PEG-DMA (dimetacrilato de polietilenglicol), PPF (Polipropileno fumarato), PMMA (poli metilmetacrilato) así como resinas cerámicas. Estos materiales están disponibles en diferentes colores y cada material presenta diferentes propiedades físicas y mecánicas(Dawood *et al.*, 2015; Shah and Chong, 2018).

POLYJET O MULTIJET

Estas tecnologías comparten muchas similitudes con la impresión por inyección de tinta 2D. La manera en que la resina es inyectada sobre la superficie en las zonas de interés es muy similar. Para que el objeto se imprima en las tres dimensiones, esta resina es polimerizada y la plataforma de impresión avanza para recibir la siguiente capa. Esta

técnica puede combinar varios colores o materiales en la misma impresión. Esta característica les confiere grandes ventajas frente a otras tecnologías. Por ejemplo, una misma impresión puede tener zonas con material duro y zonas con material blando o los soportes de impresión pueden ser de cera u otros materiales más fáciles de retirar. La tecnología multijet presenta una resolución de 16 μm , pero es más cara que la tecnología SLA (Dawood *et al.*, 2015; Shah and Chong, 2018; Tamimi and Hirayama, 2020).

MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM)

Esta técnica nace en los años 90 de la mano de Stratasys, en ella el objeto se forma a medida que se deposita un filamento de material termoplástico a través de un cabezal precalentado. Los movimientos del cabezal son dirigidos por el programa de fabricación asistida en las tres dimensiones del espacio XYZ. El material termoplástico se funde parcialmente a su paso por el cabezal y tras su deposición sobre la base de impresión, se solidifica en un breve periodo de tiempo (0,1 s). El proceso de deposición continúa para las sucesivas capas hasta que se haya completado el objeto (Dawood *et al.*, 2015).

La precisión de esta técnica de impresión es inferior a las otras técnicas (SLA,DLP,PolyJet) con una precisión media de 127 μm . Esta precisión va a depender de la velocidad de deposición, el flujo del material termoplástico, el diámetro del cabezal y del tamaño de cada capa. Una de las ventajas del FDM es que no requiere post-procesado. Por otro lado, entre sus desventajas encontramos su baja precisión, baja velocidad de impresión y por su baja calidad superficial. Por otro lado, esta técnica está limitada a materiales termoplásticos, entre los que encontramos ceras, PLA (Ácido poliláctico), ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno), policarbonatos entre otros. El uso de PLA es el material más apropiado para el uso dental por ser muy biocompatible. La cantidad de filamentos disponibles crece cada año y sus usos en odontología abarcan desde la fabricación de cubetas individuales, guías quirúrgicas, patrones de cera para prótesis entre otros (Pillai *et al.*, 2021).

VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D

Existen ventajas y desventajas asociadas a cada técnica de impresión 3D en relación con su precisión, coste, velocidad y selección de materiales. Generalmente, la impresión 3D es más económica y rápida que los métodos convencionales y que los sistemas de fresado. Es importante saber que la tecnología de impresión 3D está cambiando de manera constante por lo que podría mejorar su calidad además de eliminar ciertas limitaciones. Por otra parte, el coste necesario para implementar un sistema de impresión 3D es mucho menor que el necesario para un sistema de fresado (Oberoi *et al.*, 2018; Rekow, 2020).

2

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Los nuevos sistemas digitales obligan en la odontología y en la ortodoncia a un cambio radical tanto en el ejercicio profesional como en la enseñanza universitaria. La introducción de los nuevos sistemas digitales no es sencilla, debido a los grandes costos iniciales de los dispositivos y de las licencias requeridas para su funcionamiento. Las diferentes casas comerciales disponen de aparatología dental específica: escáneres intraorales e impresoras 3D con precios muy altos.

Existen alternativas sin tener que recurrir a las casas comerciales dentales. Nuestro objetivo es intentar demostrar la precisión y exactitud de un sistema sencillo, empleando programas de libre acceso e impresoras 3D domésticas. Estas últimas están al alcance de cualquier estudiante de último curso o de los nuevos odontólogos.

Como objetivo secundario se pretende determinar si los sistemas más sencillos son suficientes para formar a las nuevas generaciones de estudiantes.

3

MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL Y MÉTODOS

Se han seleccionado un total de 5 alumnos del grado de Odontología de la universidad de Santiago de Compostela que accedieron a colaborar de manera voluntaria. Se les ha explicado la naturaleza del estudio y el tratamiento de datos que en este ocurre para el cumplimiento de la ***Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.***

Se ha pedido el Consentimiento Informado (CI, Anexo I) a todos los participantes a pesar de que la actuación clínica que se realiza presenta una probabilidad muy baja de producir iatrogenia, esto es, generar un daño sobre los tejidos objeto de estudio. En el CI se expone: la participación en el estudio y las actuaciones y procedimientos pertinentes. Se explican los riesgos y posibles complicaciones derivadas de las actuaciones clínicas a realizar.

MODELOS DE YESO

Con el fin de obtener modelos de yeso, se le tomaron impresiones en alginato cromático de alta precisión ISO 21563, ISO 9001, ISO 13485 “AlginMax” de la marca Major Prodotti Dentari S.P.A. siguiendo las indicaciones del fabricante (19 gramos de polvo + 40 mililitros de agua, mezclado durante 35 segundos). Se han empleado cubetas RimLock. Todas las impresiones se vaciaron en un periodo menor a 24 horas en yeso blanco de ortodoncia ISO tipo III.

MODELOS DIGITALES

Los modelos digitales se generaron empleando un escáner intraoral Tríos3 de la marca 3Shape. Para la generación de los archivos .STL se ha empleado el software del propio escáner.

Se han generado modelos digitales empleando un escáner de modelos S600 ARTI (Figura 3.1.) de la marca Zirkonzahn. La exportación de los modelos STL se ha realizado con el programa Zirkonzahn.Scan figura 3.1.

Los archivos STL de cada modelo, se prepararon empleando el programa Meshmixer 3.5.474 (Autodesk, San Rafael, California) figura 3.2.

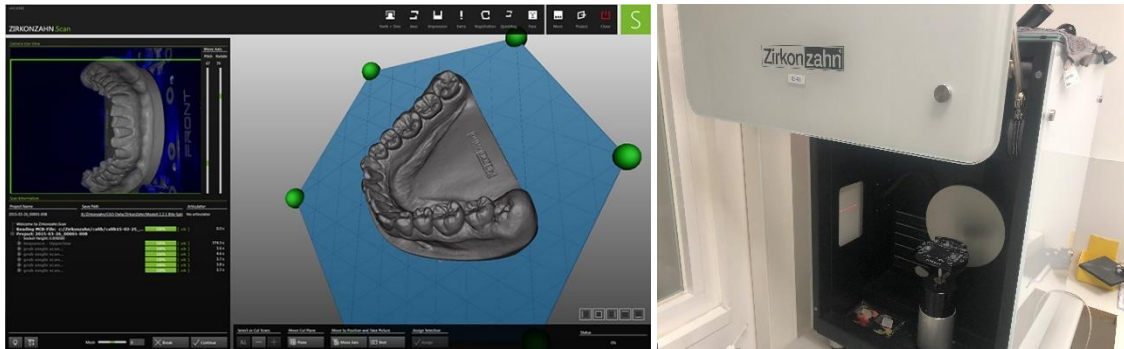


Figura 3.1. Captura de pantalla del programa Zirkonzahn.Scan durante el escaneado de modelos izq. y escáner de modelos S600 ARTI Drcha.

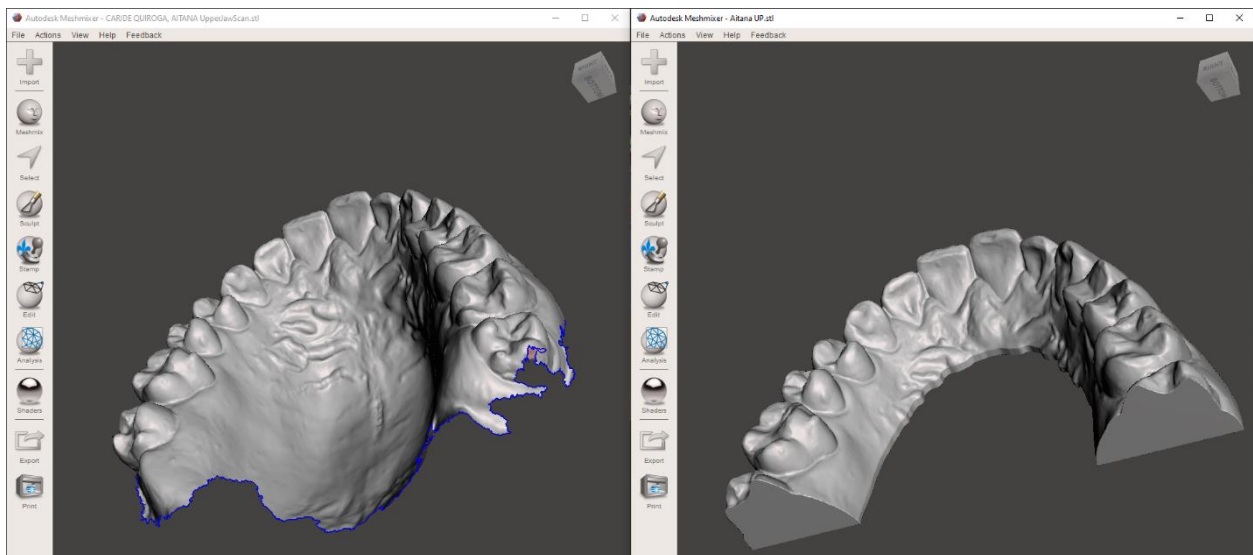


Figura 3.2 Preparación de los archivos STL con programa Meshmixer 3.5.474.

MODELOS ESTEOLITOGRAFICOS IMPRESOS

Los archivos .STL generados por el programa del escáner intraoral se han procesado empleando Meshmixer 3.5.474 (Autodesk, San Rafael, California). Los modelos preparados se han impreso empleando una impresora 3D Anycubic Photon con tecnología LCD, usando resina fotorpolimerizable con luz ultravioleta a una longitud de onda de 405nm. La orientación de los modelos ha sido en posición vertical como se muestra en la figura 3.3. El flujo de trabajo se describe en la figura 3.4.

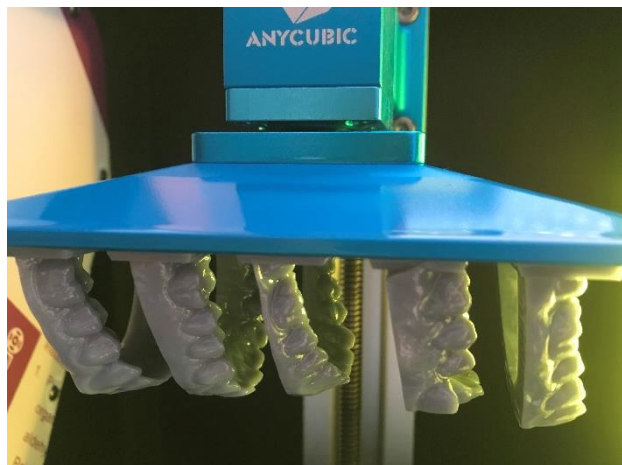


Imagen 3.3. Orientación de los modelos sobre la base de impresión.

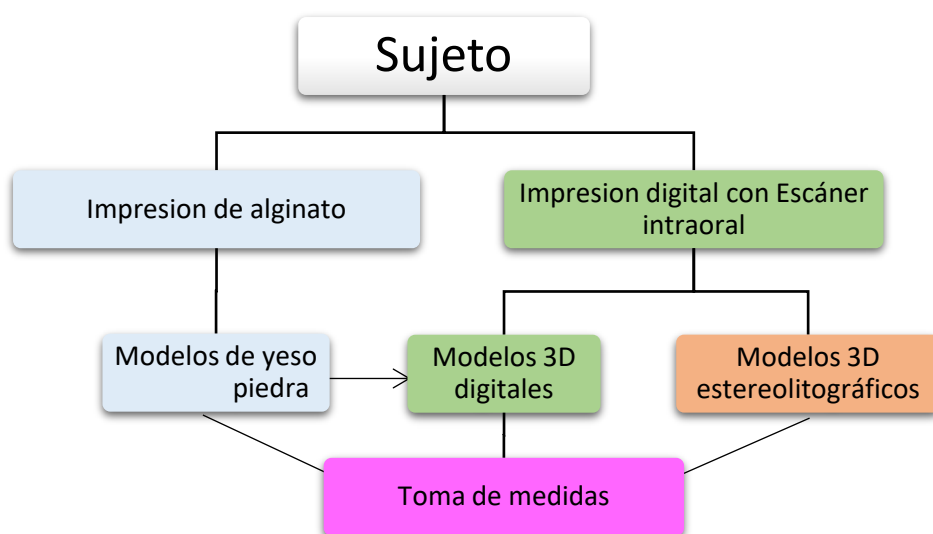


Figura 3.4. Esquema del flujo de trabajo realizado sobre los participantes del estudio.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se ha empleado el paquete estadístico SPSS versión 28 (IBM, Armonk, Nueva York) para realizar un análisis estadístico de t-Student para evaluar la diferencia de medidas entre modelos homólogos.

Los STL generados con el escáner de modelos se han comparado con los STL generados con el escáner intraoral empleando el programa informático de licencia general pública CloudCompare Versión 2.12 alpha. Se ha realizado un total de 10 análisis, los cuales se han ajustado inicialmente de forma manual. Para ello se realiza una superposición seleccionando puntos de referencia homólogos en ambos STL (imagen 3.6.).

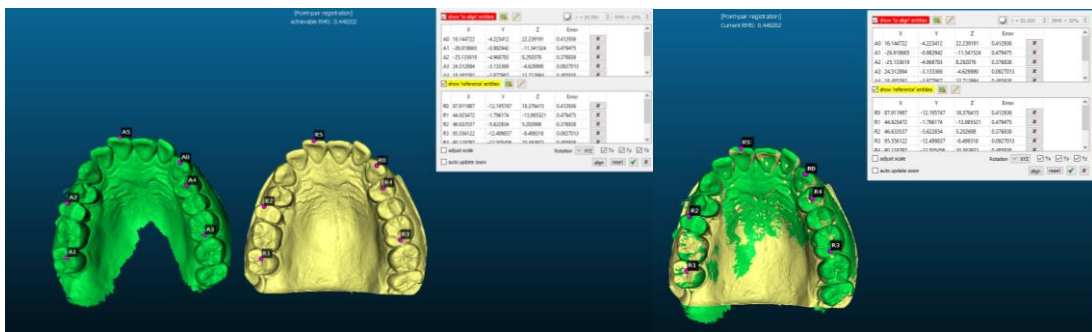


Figura 3.6. Ajuste inicial manual marcando puntos de referencia en ambos modelos (izq).
Alineado de los puntos de referencia (dcha.)

Secundariamente se realiza un alineado fino automático empleando el algoritmo ICP (Interactive Closest Point) (Besl and McKay, 1992). Posteriormente se computan las diferencias entre ambos archivos, ajustando la escala para obtener un mapa representativo por color (Figura 3.7.).

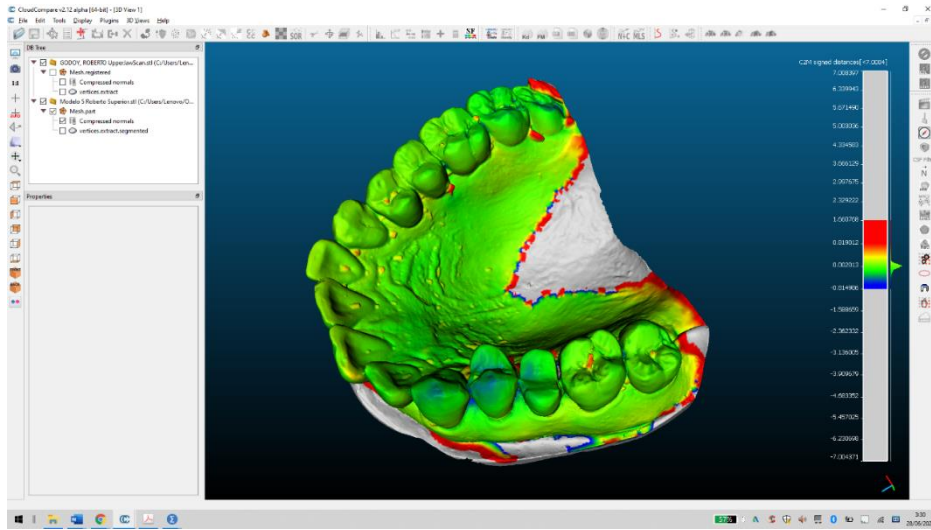


Figura 3.7. Mapa representativo de las diferencias entre los modelos con escala colorimétrica.

Se ha obtenido del análisis previo la media de las diferencias entre los modelos homólogos y su distribución (Figura 3.8.)

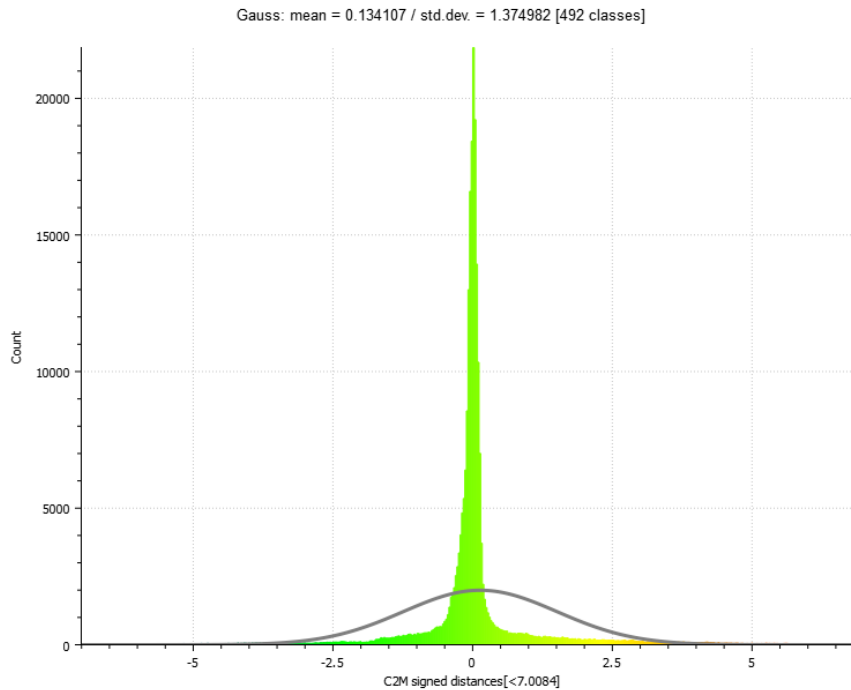


Figura 3.8. Media y distribución de las diferencias entre dos modelos homólogos.

4

RESULTADOS

RESULTADOS

Los valores de la media, su desviación estándar, la desviación estándar de la media además del máximo y mínimo se muestran en la tabla 4.1.

Estadísticos descriptivos						
	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
ModeloYeso	80	4,30	56,80	16,5237	1,65199	14,77585
ModeloSTLescáner	80	4,44	56,01	16,4025	1,65250	14,78037
ModeloSTLINtraoral	80	4,39	56,56	16,3458	1,63920	14,66148
ModeloResina	80	4,60	56,60	16,4772	1,64099	14,67745

Tabla 4.1. Estadísticos descriptivos de las medidas.

La media de las diferencias entre grupos es: $0,04862 \pm 0,1455$ mm para el Par 1 (modelos de yeso vs Modelo STL escáner), $0,09837 \pm 0,3167$ mm para el Par 2 (modelos de yeso vs Modelo STL intraoral), $0,04825 \pm 0,48076$ mm para el Par 3 (modelos de yeso vs modelos de resina), $0,04975 \pm 0,31610$ mm para el Par 4 (Modelos STL escáner vs Modelos STL intraoral), $-0,0038 \pm 0,50881$ mm para el Par 5 (Modelos STL escáner vs Modelos resina) y $-0,5013 \pm 0,50953$ mm para el Par 6 (modelos STL intraoral vs Modelos resina). Con un nivel de confianza del 95%, se muestran diferencias significativas en el Par 1 y 2, mientras que el resto de los pares no se muestran diferencias significativas (tabla 4.2.)

Prueba de muestras emparejadas

Par		Media	Diferencias emparejadas				t	gl	Significación	
			Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				P de un factor	P de dos factores
					Inferior	Superior				
1	ModeloYeso - ModeloSTLescáner	,04862	,14555	,01627	,01623	,08102	2,988	79	,002	,004
2	ModeloYeso - ModeloSTLIntraoral	,09837	,31607	,03534	,02804	,16871	2,784	79	,003	,007
3	ModeloYeso - ModeloResina	,04825	,48076	,05375	-,05874	,15524	,898	79	,186	,372
4	ModeloSTLescáner - ModeloSTLIntraoral	,04975	,31610	,03534	-,02059	,12009	1,408	79	,082	,163
5	ModeloSTLescáner - ModeloResina	-,00038	,50881	,05689	-,11361	,11286	-,007	79	,497	,995
6	ModeloSTLIntraoral - ModeloResina	-,05013	,50953	,05697	-,16352	,06327	-,880	79	,191	,382

Tabla 4.2. Prueba de muestras emparejadas, empleando un test T.

En la comparación de los modelos STL a través de la computarización de la distancia mínima entre la red de puntos (mesh) de modelos homólogos se ha empleado el algoritmo de mejor ajuste. Obtenemos el RMS que nos indica la calidad del ajuste tridimensional. Un valor RMS próximo a cero indica un buen ajuste tridimensional. La relación de RMS de cada análisis se muestra en la tabla 4.3. La calidad de la superposición se muestra a través de mapas de color, las áreas que aparecen en colores cálidos indican una desviación positiva mientras que colores fríos indican una desviación negativa. (figura 4.4.). La relación de mapas de color y los histogramas de la distribución de las diferencias entre los modelos, se pueden consultar todos los casos analizados en el anexo II.

	VALOR RMS	DISCREPANCIA MEDIA
ANÁLISIS MODELOS 1 M	0,082	-0,016453
ANÁLISIS MODELOS 2 R	0,045	0,102737
ANÁLISIS MODELOS 3 I	0,067	0,269979
ANÁLISIS MODELOS 4 T	0,096	0,328353
ANÁLISIS MODELOS 5 Y	0,064	0,162459
ANÁLISIS MODELOS 6	0,084	0,011220
ANÁLISIS MODELOS 7	0,068	0,170696
ANÁLISIS MODELOS 8	0,097	-0,798106
ANÁLISIS MODELOS 9	0,062	-0,330906
ANÁLISIS MODELOS 10	0,090	-0,118661

Tala 4.3. Valores RMS y Discrepancia media (STL escáner vs STL intraoral)

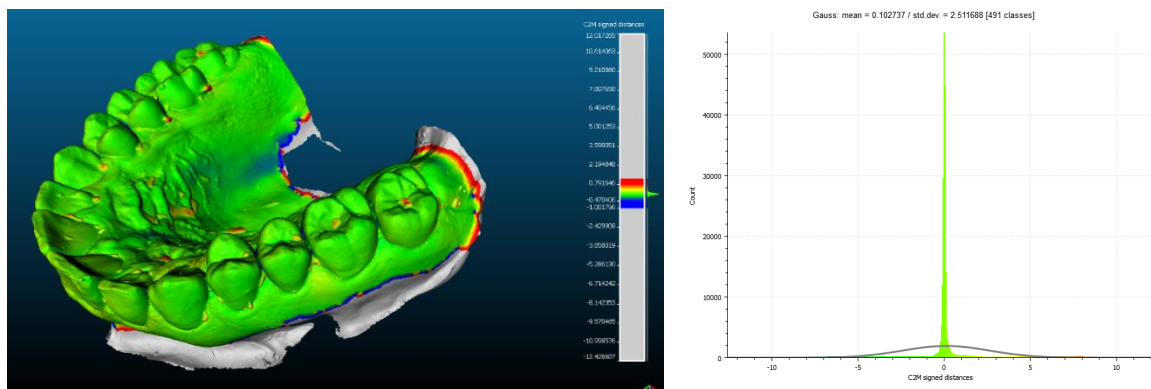


Figura 4.4. Muestra del ajuste tridimensional con escala de color e histograma de distribución de las diferencias entre modelos en uno de los análisis realizados.

5

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

Para evaluar la precisión y exactitud de una impresora 3D doméstica en la generación de biomodelos de resina se ha planteado la siguiente hipótesis nula: No existen diferencias significativas entre las medidas obtenidas de los modelos de resina y las medidas de los sistemas homólogos (modelos de yeso, modelos digitales STL de dos fuentes: escáner de modelos y escáner intraoral). En todos los pares en los que se comparan la resina con uno u otro sistema, se obtiene una precisión y una exactitud dentro de los límites de uso clínico. Estos datos son similares a los obtenidos por otros investigadores que emplean un sistema de fabricación similar: (Bell, Ayoub and Siebert, 2003; Keating *et al.*, 2008; Saleh *et al.*, 2015; Park *et al.*, 2020).

Existen numerosos estudios que evalúan la precisión y exactitud de biomodelos impresos que encuentran diferencias estadísticamente significativas frente a los modelos de yeso. Sin embargo, muchos autores coinciden en que sus límites se encuentran dentro de la aplicabilidad clínica. Es decir, no son significativas clínicamente si se encuentran en un rango menor de 200 μm , aunque se necesita una mejor precisión para prótesis fija e implantología. Para estos casos se considera aceptable una tolerancia de 100 μm (Kiviahde *et al.*, 2018; Rungrojwittayakul *et al.*, 2020).

Este trabajo permite evaluar además la calidad del flujo de trabajo desde la digitalización de la cavidad oral hasta la generación del biomodelo de resina. Los resultados obtenidos se ven influenciados durante las diferentes etapas.

En la etapa de digitalización, la calidad se ve influenciada por la habilidad en el manejo del escáner intraoral. Todas las tomas han sido realizadas por alumnos de 5 curso de odontología con un contacto previo muy escaso con la tecnología en cuestión. Este hecho parece no haber influenciado de manera significativa.

En la etapa de manipulación de los archivos digitales: Existen programas específicos para el flujo digital, con interfaces y funcionalidades adaptadas a los diferentes campos de la odontología (prótesis, ortodoncia, implantología entre otros). En este trabajo se han empleado programas de licencia gratuita y de libre acceso como el

Meshmixer, MeshLab y el CloudCompare y por tanto se ha podido evitar el elevado costo que requieren la gran mayoría de programas dentales. Si bien es cierto que, los procesos son más laboriosos comparativamente con los programas específicos, los resultados nos indican que se pueden procesar los datos digitales de manera precisa y exacta con programas gratuitos. Los programas específicos aportan una indudable eficiencia al flujo de trabajo digital.

En la tercera etapa de fabricación se ha empleado una impresora doméstica de bajo costo, que no ha sido diseñada específicamente para el uso dental. A pesar de ello, sus características permiten generar biomodelos de una alta calidad y precisión. Su utilización conlleva el uso de protocolos generados a base de ensayo-error ya que estas impresoras no gozan de soporte técnico específico.

Los modelos de yeso siguen siendo el Gold estándar en cuanto al registro y almacenaje de modelos ortodóncicos. La ley española recoge que deben ser salvaguardados durante 5 años. En este período, los yesos sufren una variación volumétrica intrínseca a este material. La conservación de los modelos digitales es sencilla y accesible, permite fabricar nuevos modelos sin que sufran cambios dimensionales. Los cambios dimensionales de los biomodelos de resina deberán ser estudiados a lo largo del tiempo, esto aportará más datos sobre el comportamiento de estas.

6

CONCLUSIÓN

CONCLUSIÓN

Los métodos sencillos de flujo digital presentan una precisión y exactitud aceptable para ser considerada adecuada en el ámbito odontológico.

La utilización del escaneado intraoral, como alternativa a la técnica convencional con materiales de impresión, y la elaboración del biomodelo con impresoras 3D en lugar del vaciado convencional, otorgan una gran precisión en la obtención de modelos de trabajo.

El empleo de sistemas de impresión digital ha aumentado y todo apunta a que seguirá haciéndolo. La satisfacción del odontólogo y del paciente puede verse mejorada por la implementación de técnicas digitales.

Estos sistemas sencillos pueden proporcionar un medio adecuado para que los alumnos y profesionales tengan un primer contacto con las tecnologías digitales de fabricación asistida sin costos elevados.

7

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Bell, A., Ayoub, A. F. and Siebert, P. (2003) 'Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models', *Journal of Orthodontics*, 30(3), pp. 219–223. doi: 10.1093/ortho/30.3.219.
2. Benítez, C. F. (2014) *Estudio clínico descriptivo transversal de la fiabilidad de registros intermaxilares obtenidos mediante escaneado digital intraoral*. Universidad Complutense de Madrid.
3. Berrendero, S. (2017) 'Estudio comparativo de un sistema de impresión convencional y el sistema digital Trios ®', p. 299.
4. Besl, P. J. and McKay, N. D. (1992) 'A Method for Registration of 3-D Shapes', *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 239–256. doi: 10.1109/34.121791.
5. Chu, S. J., Trushkowsky, R. D. and Paravina, R. D. (2010) 'Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects', *Journal of Dentistry*, 38(SUPPL. 2), pp. 2–16. doi: 10.1016/j.jdent.2010.07.001.
6. Cooper, L. F. (2019) 'Digital Technology: Impact and Opportunities in Dental Education', *Journal of Dental Education*, 83(4), pp. 379–380. doi: 10.21815/jde.019.042.
7. Cousley, R. R. (2020) 'Introducing 3D printing in your orthodontic practice', *Journal of orthodontics*, 47(3), pp. 265–272. doi: 10.1177/1465312520936704.
8. Dawood, A. *et al.* (2015) '3D printing in dentistry', *British Dental Journal*, 219(11), pp. 521–529. doi: 10.1038/sj.bdj.2015.914.
9. Fradeani, M. (2006) *Rehabilitación Estética en Prostodoncia*. 1ª Edición. Quintessence.
10. González de Villaumbrosia, P. *et al.* (2016) 'In vitro comparison of the accuracy (trueness and precision) of six extraoral dental scanners with different scanning technologies', *Journal of Prosthetic Dentistry*, 116(4), pp. 543-550.e1. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.01.025.
11. Jacobsen, Michele, D. (1998) 'Adoption patterns of faculty who integrate computer

technology for teaching and learning in higher education', *Social Sciences and Humanities Research Council of Canada*.

12. Jarad, F. D., Russell, M. D. and Moss, B. W. (2005) 'The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry', *British Dental Journal*, 199(1), pp. 43–49. doi: 10.1038/sj.bdj.4812559.
13. Jheon, A. H. *et al.* (2017) 'Moving towards precision orthodontics: An evolving paradigm shift in the planning and delivery of customized orthodontic therapy', *Orthodontics and Craniofacial Research*, 20(March), pp. 106–113. doi: 10.1111/ocr.12171.
14. Keating, A. P. *et al.* (2008) 'A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy', *Journal of Orthodontics*, 35(3), pp. 191–201. doi: 10.1179/146531207225022626.
15. Kiviahde, H. *et al.* (2018) 'Inter-arch digital model vs. manual cast measurements: Accuracy and reliability', *Cranio - Journal of Craniomandibular Practice*, 36(4), pp. 222–227. doi: 10.1080/08869634.2017.1344811.
16. van der Meer, W. J. *et al.* (2012) 'Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology', *PLoS ONE*, 7(8), pp. 1–8. doi: 10.1371/journal.pone.0043312.
17. Oberoi, G. *et al.* (2018) '3D printing-Encompassing the facets of dentistry', *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6(NOV), pp. 1–13. doi: 10.3389/fbioe.2018.00172.
18. Park, J. M. *et al.* (2020) 'Dimensional accuracy and surface characteristics of 3D-printed dental casts', *Journal of Prosthetic Dentistry*, pp. 1–11. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.07.008.
19. Pillai, S. *et al.* (2021) 'Dental 3d-printing: Transferring art from the laboratories to the clinics', *Polymers*, 13(1), pp. 1–25. doi: 10.3390/polym13010157.
20. Rapone, B. *et al.* (2020) 'The accuracy of three intraoral scanners in the oral environment with and without saliva: A comparative study', *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(21), pp. 1–20. doi: 10.3390/app10217762.
21. Rekow, E. D. (2018) *Digital Dentistry A Comprehensive Reference and Preview of the Future*. 1st Editio. Edited by Quintessence.
22. Rekow, E. D. (2020) 'Digital dentistry: The new state of the art — Is it disruptive or

- destructive?', *Dental Materials*, 36(1), pp. 9–24. doi: 10.1016/j.dental.2019.08.103.
23. Richert, R. *et al.* (2017) 'Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression', *Journal of Healthcare Engineering*, 2017. doi: 10.1155/2017/8427595.
24. Rungrojwittayakul, O. *et al.* (2020) 'Accuracy of 3D Printed Models Created by Two Technologies of Printers with Different Designs of Model Base', *Journal of Prosthodontics*, 29(2), pp. 124–128. doi: 10.1111/jopr.13107.
25. Saleh, W. K. *et al.* (2015) 'Accuracy and reproducibility of linear measurements of resin, plaster, digital and printed study-models', *Journal of Orthodontics*, 42(4), pp. 301–306. doi: 10.1179/1465313315Y.0000000016.
26. Shah, P. and Chong, B. S. (2018) '3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics', *Clinical Oral Investigations*, 22(2), pp. 641–654. doi: 10.1007/s00784-018-2338-9.
27. Suese, K. (2020) 'Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners', *Dental Materials Journal*, 39(1), pp. 52–56. doi: 10.4012/dmj.2019-224.
28. Tamimi, F. and Hirayama, H. (2020) *Digital Restorative Dentistry A Guide to Materials, Equipment, and Clinical Procedures*, *Stomatology Edu Journal*. doi: 10.25241/stomaeduj.2020.7(1).bookreview.2.
29. <https://fourweekmba.com/technology-adoption-curve/> consultado 5 junio de 2021.
30. Whaites, E. *et al.* (2020) *Essentials of Dental Radiography and Radiology*.

8

ANEXOS

ANEXO I. CONSENTIMIENTO INFORMADO

CONSENTIMIENTO PARA LA TOMA DE IMPRESIONES Y AUTORIZACIÓN PARA SU USO

Nombre de la persona: _____

Teléfono: _____ Dirección: _____

CONSENTIMIENTO PARA LA TOMA DE IMPRESIONES

Por la presente, doy mi consentimiento para que se me tomen impresiones. El término "impresión" incluye técnicas digitales con escáner intraoral como impresiones convencionales con alginato o silicona. Por la presente, autorizo el uso con fines didácticos, educativos o de investigación. Renuncio a cualquier derecho a recibir compensación por tales usos en virtud de la autorización precedente. Por la presente, yo y mis sucesores o cesionarios eximimos al investigador de toda responsabilidad ante cualquier reclamo por daños o de indemnización que surja de las actividades autorizadas por este acuerdo.

La toma de impresión se realiza llevando a la boca un material blando y semifluido contenido en una cubeta metálica que al presionarlo contra los tejidos orales producen una impresión. Las náuseas son la complicación más frecuente de este procedimiento. Esta situación puede incluso provocar el vómito. De manera excepcional y solo en dientes periodontales con movilidad aumentada pueden quedarse retenidos en el material de impresión.

DECLARO

- Que he sido informado con antelación suficiente y de forma satisfactoria del procedimiento que se me va a realizar, así como de sus riesgos y complicaciones.
- Que asumo los riesgos y secuelas que puedan producirse y que he comprendido las explicaciones que se me han dado, y que el facultativo me ha permitido realizar todas las observaciones y dudas que le he planteado, por lo que estoy satisfecho con la información recibida.
- Recibo copia del presente documento y comprendo que puedo revocar en cualquier momento el consentimiento que en este momento presto.

CONSENTIMIENTO PARA LA TOMA DE IMPRESIONES Y AUTORIZACIÓN PARA SU USO

Nombre de la persona: _____

Teléfono: _____ Dirección: _____

CONSENTIMIENTO PARA LA TOMA DE IMPRESIONES

Por la presente, doy mi consentimiento para que se me tomen impresiones. El término "impresión" incluye técnicas digitales con escáner intraoral como impresiones convencionales con alginato o silicona. Por la presente, autorizo el uso con fines didácticos, educativos o de investigación. Renuncio a cualquier derecho a recibir compensación por tales usos en virtud de la autorización precedente. Por la presente, yo y mis sucesores o cesionarios eximimos al investigador de toda responsabilidad ante cualquier reclamo por daños o de indemnización que surja de las actividades autorizadas por este acuerdo.

La toma de impresión se realiza llevando a la boca un material blando y semifluido contenido en una cubeta metálica que al presionarlo contra los tejidos orales producen una impresión. Las náuseas son la complicación más frecuente de este procedimiento. Esta situación puede incluso provocar el vómito. De manera excepcional y solo en dientes periodontales con movilidad aumentada pueden quedarse retenidos en el material de impresión.

DECLARO

- Que he sido informado con antelación suficiente y de forma satisfactoria del procedimiento que se me va a realizar, así como de sus riesgos y complicaciones.
- Que asumo los riesgos y secuelas que puedan producirse y que he comprendido las explicaciones que se me han dado, y que el facultativo me ha permitido realizar todas las observaciones y dudas que le he planteado, por lo que estoy satisfecho con la información recibida.
- Recibo copia del presente documento y comprendo que puedo revocar en cualquier momento el consentimiento que en este momento presto.

CONSENTIMIENTO PARA LA TOMA DE IMPRESIONES Y AUTORIZACIÓN PARA SU USO

Nombre de la persona: _____

Teléfono: _____ Dirección: _____

CONSENTIMIENTO PARA LA TOMA DE IMPRESIONES

Por la presente, doy mi consentimiento para que se me tomen impresiones. El término "impresión" incluye técnicas digitales con escáner intraoral como impresiones convencionales con alginato o silicona. Por la presente, autorizo el uso con fines didácticos, educativos o de investigación. Renuncio a cualquier derecho a recibir compensación por tales usos en virtud de la autorización precedente. Por la presente, yo y mis sucesores o cesionarios eximimos al investigador de toda responsabilidad ante cualquier reclamo por daños o de indemnización que surja de las actividades autorizadas por este acuerdo.

La toma de impresión se realiza llevando a la boca un material blando y semifluido contenido en una cubeta metálica que al presionarlo contra los tejidos orales producen una impresión. Las náuseas son la complicación más frecuente de este procedimiento. Esta situación puede incluso provocar el vómito. De manera excepcional y solo en dientes periodontales con movilidad aumentada pueden quedarse retenidos en el material de impresión.

DECLARO

- Que he sido informado con antelación suficiente y de forma satisfactoria del procedimiento que se me va a realizar, así como de sus riesgos y complicaciones.
- Que asumo los riesgos y secuelas que puedan producirse y que he comprendido las explicaciones que se me han dado, y que el facultativo me ha permitido realizar todas las observaciones y dudas que le he planteado, por lo que estoy satisfecho con la información recibida.
- Recibo copia del presente documento y comprendo que puedo revocar en cualquier momento el consentimiento que en este momento presto.

CONSENTIMIENTO PARA LA TOMA DE IMPRESIONES Y AUTORIZACIÓN PARA SU USO

Nombre de la persona: _____

Teléfono: _____ Dirección: _____

CONSENTIMIENTO PARA LA TOMA DE IMPRESIONES

Por la presente, doy mi consentimiento para que se me tomen impresiones. El término "impresión" incluye técnicas digitales con escáner intraoral como impresiones convencionales con alginato o silicona. Por la presente, autorizo el uso con fines didácticos, educativos o de investigación. Renuncio a cualquier derecho a recibir compensación por tales usos en virtud de la autorización precedente. Por la presente, yo y mis sucesores o cesionarios eximimos al investigador de toda responsabilidad ante cualquier reclamo por daños o de indemnización que surja de las actividades autorizadas por este acuerdo.

La toma de impresión se realiza llevando a la boca un material blando y semifluido contenido en una cubeta metálica que al presionarlo contra los tejidos orales producen una impresión. Las náuseas son la complicación más frecuente de este procedimiento. Esta situación puede incluso provocar el vómito. De manera excepcional y solo en dientes periodontales con movilidad aumentada pueden quedarse retenidos en el material de impresión.

DECLARO

- Que he sido informado con antelación suficiente y de forma satisfactoria del procedimiento que se me va a realizar, así como de sus riesgos y complicaciones.
- Que asumo los riesgos y secuelas que puedan producirse y que he comprendido las explicaciones que se me han dado, y que el facultativo me ha permitido realizar todas las observaciones y dudas que le he planteado, por lo que estoy satisfecho con la información recibida.
- Recibo copia del presente documento y comprendo que puedo revocar en cualquier momento el consentimiento que en este momento presto.

CONSENTIMIENTO PARA LA TOMA DE IMPRESIONES Y AUTORIZACIÓN PARA SU USO

Nombre de la persona: _____

Teléfono: _____ Dirección: _____

CONSENTIMIENTO PARA LA TOMA DE IMPRESIONES

Por la presente, doy mi consentimiento para que se me tomen impresiones. El término "impresión" incluye técnicas digitales con escáner intraoral como impresiones convencionales con alginato o silicona. Por la presente, autorizo el uso con fines didácticos, educativos o de investigación. Renuncio a cualquier derecho a recibir compensación por tales usos en virtud de la autorización precedente. Por la presente, yo y mis sucesores o cesionarios eximimos al investigador de toda responsabilidad ante cualquier reclamo por daños o de indemnización que surja de las actividades autorizadas por este acuerdo.

La toma de impresión se realiza llevando a la boca un material blando y semifluido contenido en una cubeta metálica que al presionarlo contra los tejidos orales producen una impresión. Las náuseas son la complicación más frecuente de este procedimiento. Esta situación puede incluso provocar el vómito. De manera excepcional y solo en dientes periodontales con movilidad aumentada pueden quedarse retenidos en el material de impresión.

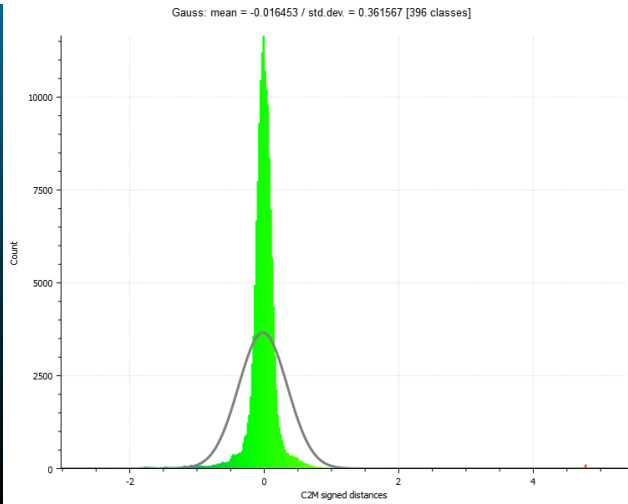
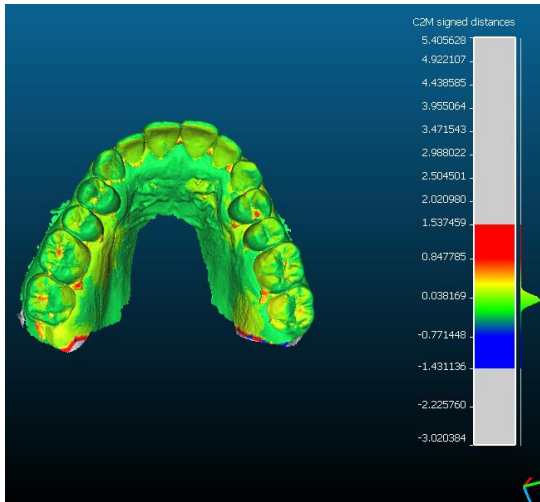
DECLARO

- Que he sido informado con antelación suficiente y de forma satisfactoria del procedimiento que se me va a realizar, así como de sus riesgos y complicaciones.
- Que asumo los riesgos y secuelas que puedan producirse y que he comprendido las explicaciones que se me han dado, y que el facultativo me ha permitido realizar todas las observaciones y dudas que le he planteado, por lo que estoy satisfecho con la información recibida.
- Recibo copia del presente documento y comprendo que puedo revocar en cualquier momento el consentimiento que en este momento presto.

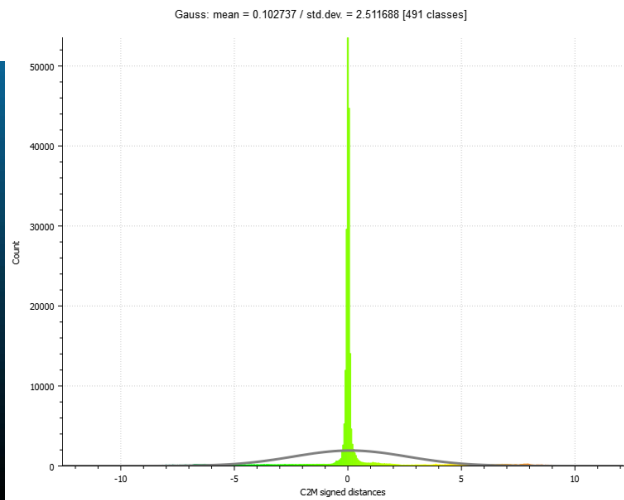
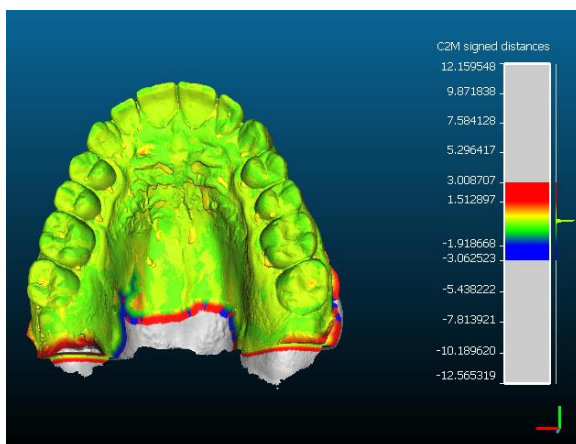
ANEXO II. RESULTADOS CLOUDCOMPARE

Mapas de color: Discrepancia dimensional entre modelos ajustada según escala de color (izq.). Histograma de distribución de las discrepancias entre modelos (Drcha.).

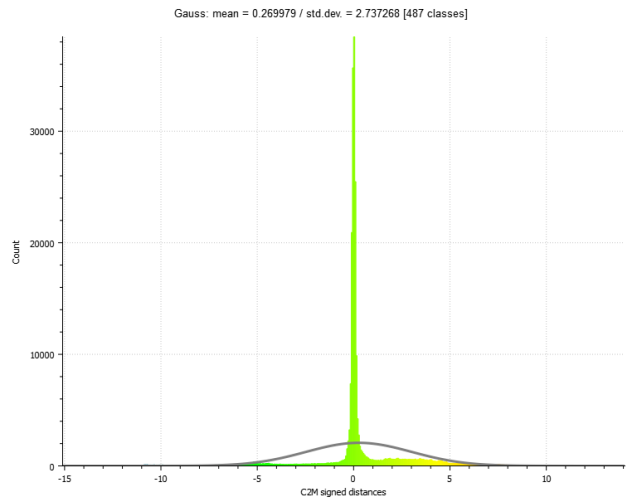
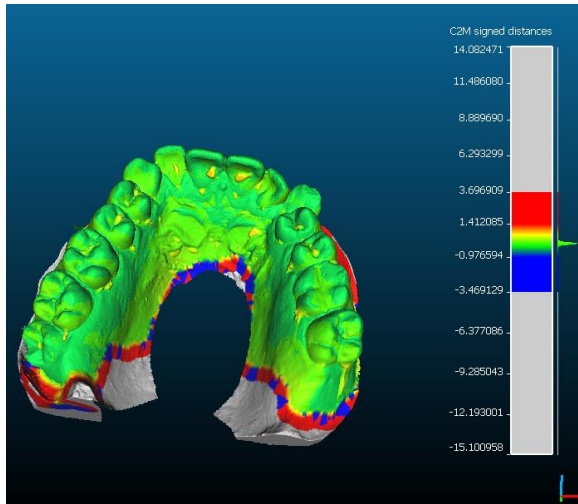
ANÁLISIS MODELOS 1



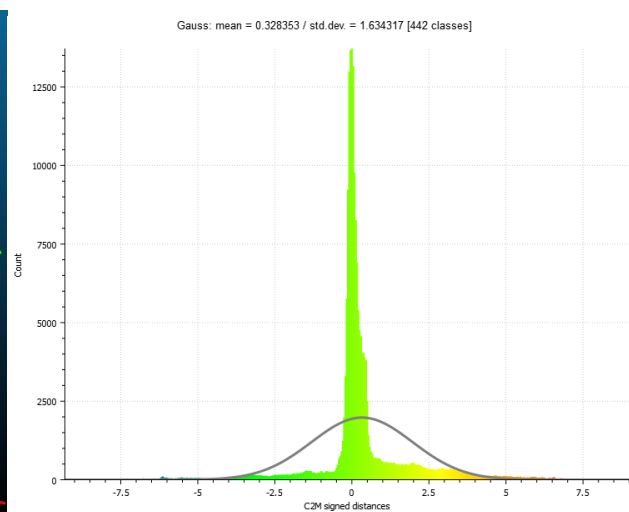
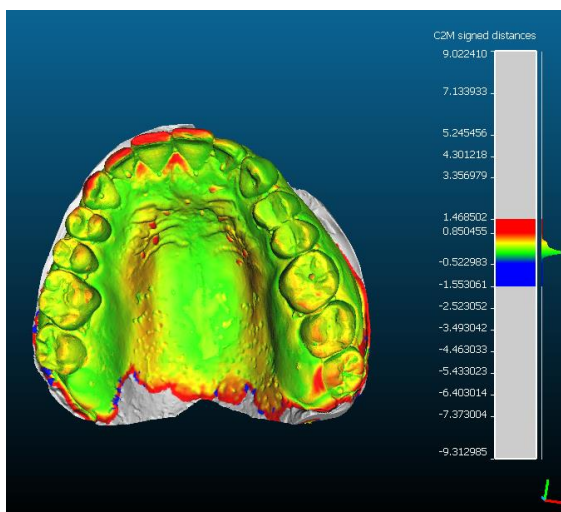
ANÁLISIS MODELOS 2



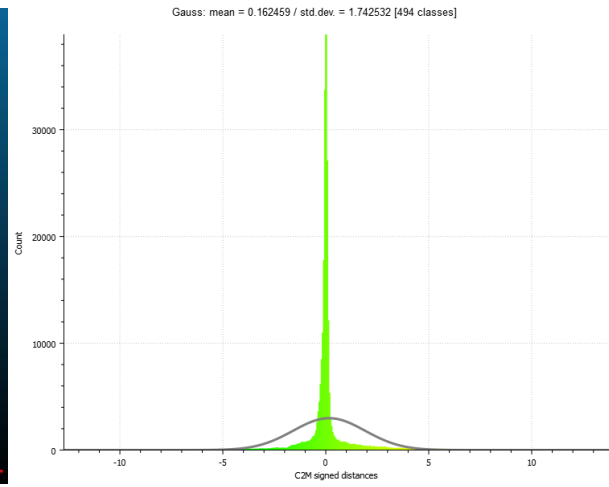
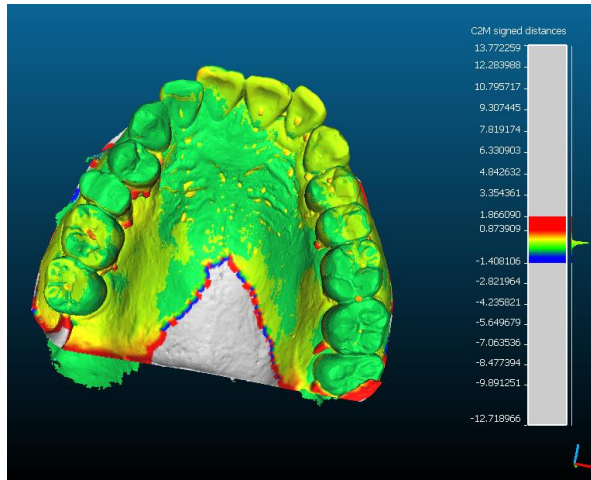
ANÁLISIS MODELOS 3



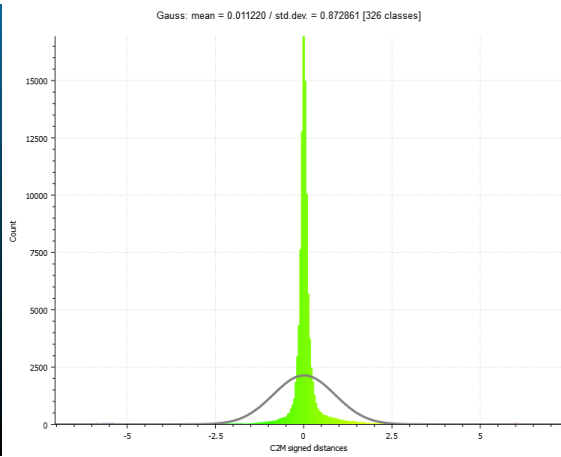
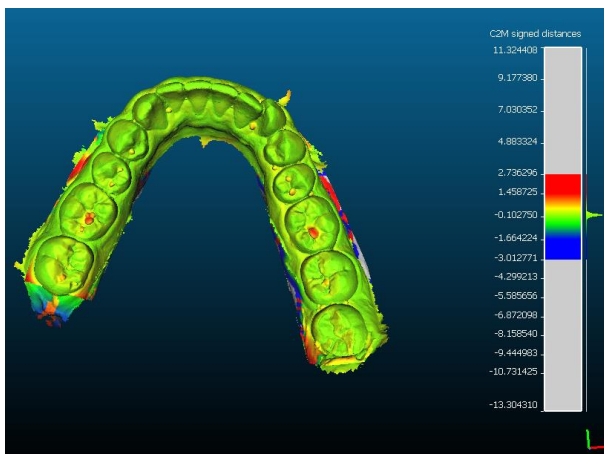
ANÁLISIS MODELOS 4



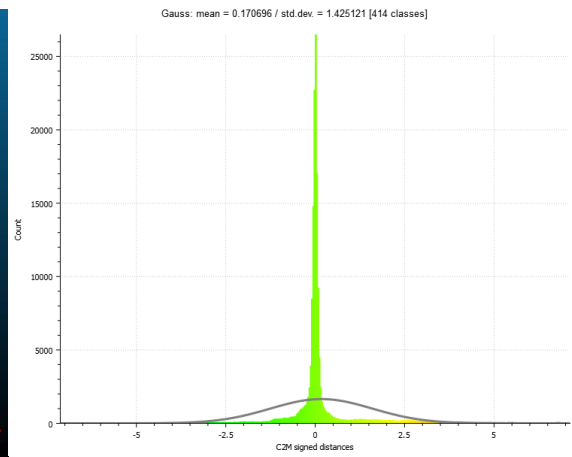
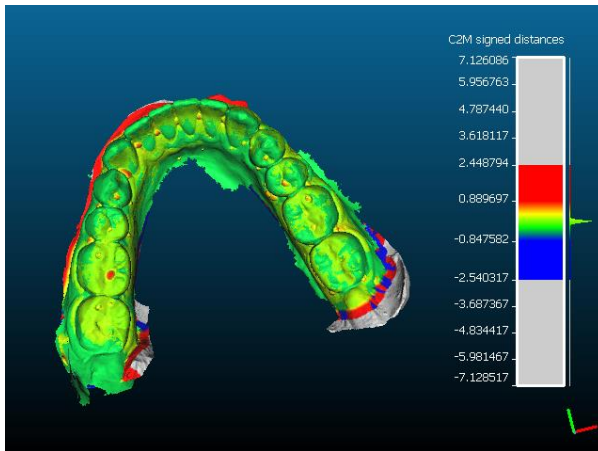
ANÁLISIS MODELOS 5



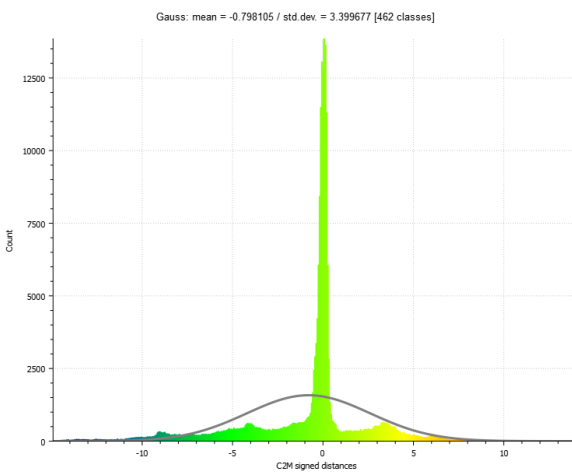
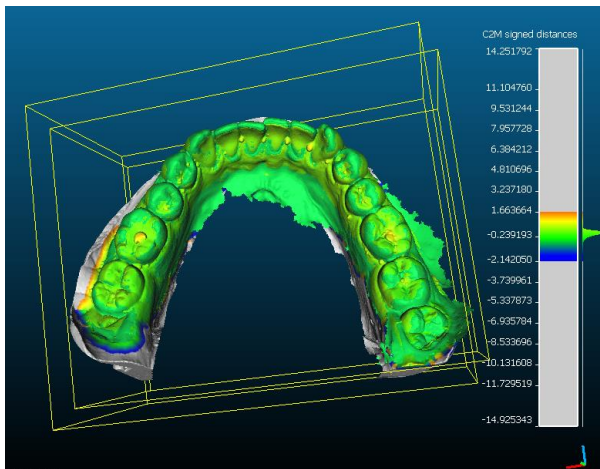
ANÁLISIS MODELOS 6



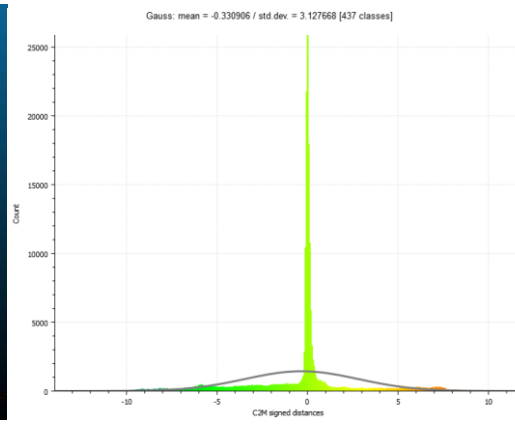
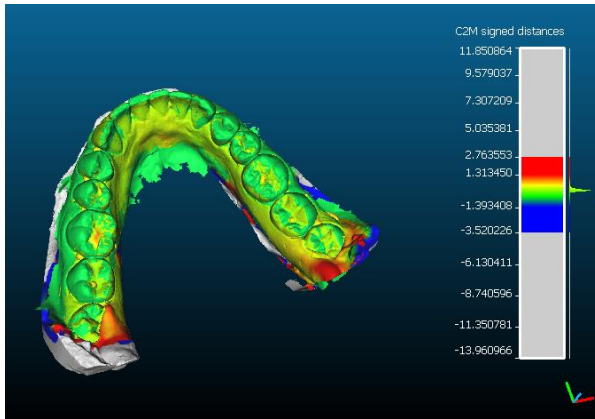
ANÁLISIS MODELOS 7



ANÁLISIS MODELOS 8



ANÁLISIS MODELOS 9



ANÁLISIS MODELOS 10

