

Los escáneres intraorales: su estado actual

Autor: Dr. Erik Schölderle Möller

Tutor: Dr. Mario Héctor Pacheco Rivera

Carrera de Especialización en Odontología
Restauradora Integral

Escuela de Graduados – Facultad de Odontología

Universidad de la República

Uruguay, año 2022

CONTENIDO

1. RESUMEN
2. INTRODUCCIÓN
3. MÉTODO
4. ANTECEDENTES
 - 4.1. CAD/CAM y etapas del flujo de trabajo digital
5. DESARROLLO
 - 5.1. Escáner Intraoral:
 - 5.1.1. Reseña histórica
 - 5.1.2. ¿Qué es un escáner intraoral?
 - 5.1.3. Tecnologías aplicadas a la captura de datos digitales
 - 5.1.3.1. Principios tecnológicos
 - 5.1.3.2. Procesamiento de datos
 - 5.1.4. Beneficios y limitaciones de las impresiones digitales
 - 5.1.5. Aspectos relevantes en la selección de un escáner intraoral
 - 5.1.6. Clasificaciones
 - 5.1.7. Escáneres intraorales disponibles en la actualidad
 - 5.2. Exactitud de los escáneres intraorales
6. DISCUSIÓN
7. CONCLUSIONES
8. ANEXO
9. BIBLIOGRAFÍA

TABLA DE ABREVIATURAS

IOS: Intraoral Scanner (Escáner intraoral)

IOSs: Intraoral Scanners (Escáneres intraorales)

3D: Tercera dimensión

CAD: Computer Aided Design (Diseño asistido por computadora)

CAM: Computer Aided Manufacturing (Fabricación asistida por computadora)

POI: Puntos de interés

CLSM: Confocal Laser Scanning Microscopy

TCO: Tomografía de coherencia óptica

IDS: International Dental Show

.STL: Standard Tessellation Language

.OBJ: Wavefront 3D Object File

.PLY: Polygon File Format

IA: Inteligencia artificial

ANSI: American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares)

ADA: American Dental Association (Asociación Dental Estadounidense)

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

LOS ESCÁNERES INTRAORALES: SU ESTADO ACTUAL

1. RESUMEN

En el marco de la práctica clínica odontológica actual, los escáneres intraorales brindan la posibilidad de implementar un flujo de trabajo totalmente digital, sustituyendo las impresiones convencionales por impresiones digitales con sus consecuentes ventajas y limitaciones. Este trabajo monográfico intenta comprender las bases tecnológicas que rigen el funcionamiento de dichos escáneres, así como los factores intrínsecos y extrínsecos que afectan la exactitud de estos sistemas en la adquisición de impresiones digitales.

Después de una revisión objetiva de la literatura, se ha encontrado que la exactitud global de los escáneres intraorales atiende a múltiples factores relacionados, entre los que se encuentran la estrategia y la extensión del área de escaneo, el procedimiento de re-escaneo de los agujeros de malla, los métodos de fusión de varias imágenes para generar imágenes panorámicas o método de *stitching* y post-procesado, la versión del software de adquisición, la integración con software CAD, las condiciones de luz ambiental, las características de las superficies orales, la presencia de fluidos, el diseño de la preparación dental, la calibración del hardware y la experiencia del operador.

Además se identificaron recientemente al menos 32 escáneres intraorales diferentes disponibles para su comercialización en el mercado internacional, los cuales parecerían ser clínicamente aptos para la práctica común, independientemente de la tecnología que utilizan. La inmensa mayoría de ellos son de clase C, lo que se ve como una tendencia del mercado actual.

Cada tecnología debe considerarse en el contexto de la actividad individual, los requisitos y las expectativas de los profesionales.

PALABRAS CLAVE

“intraoral scanner”, “digital impressions” y “optical impressions”.

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la odontología dispone de una cantidad creciente de diferentes sistemas de escáneres intraorales, los cuales comenzaron a introducirse desde hace más de 30 años con el fin de simplificar los procedimientos clínicos y brindar una mejor experiencia al paciente a través del flujo digital de trabajo. Su funcionamiento y desempeño puede variar según la tecnología con la que fueron contruidos. El conocimiento de la misma es necesario para incorporar eficazmente estos sistemas a la práctica diaria y para generar una estrategia clínica exitosa durante la adquisición de impresiones digitales. (1)

El objetivo general de este trabajo es comprender las bases que rigen el funcionamiento de los escáneres intraorales y establecer factores influyentes en la exactitud de las impresiones digitales adquiridas con éstos.

Los objetivos específicos son:

1. Exponer y analizar los principios y tecnologías que utilizan los escáneres intraorales.
2. Describir aspectos relevantes para la selección de un sistema de escáner intraoral.
3. Examinar ventajas y desventajas de las impresiones ópticas con respecto a las impresiones convencionales.
4. Identificar y clasificar los sistemas de escaneo que se encuentran actualmente disponibles para su comercialización.
5. Definir el concepto de exactitud en relación a los escáneres intraorales.

3. MÉTODO

El protocolo de esta monografía de revisión incluyó una primer búsqueda bibliográfica en las bases de datos electrónicas PubMed, Google Scholar y Portal Timbó, utilizando las siguientes palabras clave y términos MeSH en ingles: "*intraoral scanner*", "*digital impressions*" y "*optical impressions*" y su correspondiente denominación en español: "escáner intraoral", "impresión digital" e "impresión óptica".

La estrategia de búsqueda utilizada en PubMed fue: ((*instrumentation* OR *technology*) AND ("*comparative study*" OR *compare*)) ("*Intra-Oral Scanner*" OR "*intraoral scanner*"). Se examinaron los títulos y resúmenes y se seleccionaron los documentos más relevantes con texto completo.

Se completó el trabajo con una segunda búsqueda de bibliografía referenciada en las publicaciones seleccionadas más relevantes y en páginas web extraídas de Google en relación a la temática.

4. ANTECEDENTES

4.1. CAD/CAM y etapas del flujo de trabajo digital

Así como en la mayoría de los aspectos de la vida cotidiana, las innovadoras tecnologías digitales se han introducido en la práctica odontológica y están colaborando con diagnósticos más precisos y tratamientos más rápidos y predecibles, ofreciendo ventajas a los pacientes, odontólogos y técnicos laboratoristas.

CAD/CAM (*computer aided design / computer aided manufacturing*) son siglas que hacen referencia a la técnica de producción mediante tecnología informática, aplicadas tanto al diseño como a la fabricación de piezas de ingeniería, pero que actualmente se utilizan en infinidad de campos y en el área de la salud cada vez tienen un rol más protagónico. En español se conoce como el diseño asistido por computadora y la fabricación asistida por computadora.

En odontología, emplear un flujo de trabajo CAD/CAM proporciona previsibilidad, eficiencia y rentabilidad, evitando las posibles distorsiones del proceso tradicional, reduciendo todos los tiempos de trabajo y obteniendo restauraciones altamente precisas, resistentes y estéticas con los nuevos materiales diseñados para estas tecnologías. (1)

Este nuevo paradigma ha provocado un cambio en el flujo de trabajo analógico tradicional a un flujo digital, pero requiere de una pronunciada curva de aprendizaje y comprensión de los diversos hardware y software que componen cada etapa del proceso. (2)

La primera instancia en el flujo de trabajo CAD/CAM es la adquisición de datos del paciente por medio de un aparato de digitalización conocido como escáner.

Los sistemas de escaneo pueden ser de 3 tipos (Fig. 1): escáner de laboratorio o de escritorio, escáner intraoral y escáner extraoral, lo que significa que la adquisición de datos del paciente puede ser directa cuando se utiliza un escáner intraoral y/o extraoral, o indirecta cuando se toman impresiones analógicas convencionales y se digitaliza la impresión o el modelo resultante de la misma. (3)

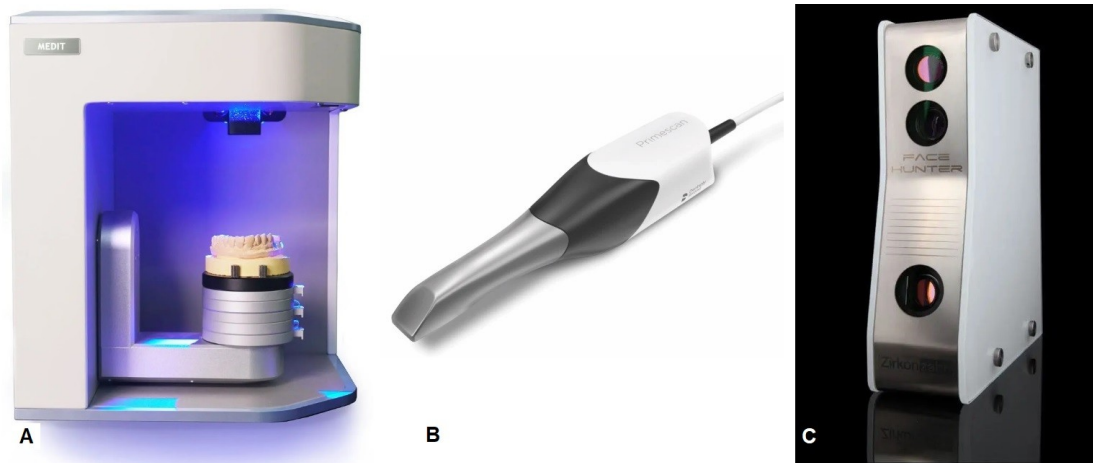


Figura 1: A) Escáner de laboratorio (Medit T-Series). B) Escáner intraoral (Primescan – Dentsply Sirona). C) Escáner facial extraoral (Face Hunter – Zirkozahn). Imágenes tomadas de la web.

En una segunda etapa del flujo de trabajo, la información adquirida por el escáner es procesada por un software de captura que genera diferentes formatos de archivos informáticos aptos para ser utilizados en software odontológicos de diseño o planificación, ésta es la fase CAD del proceso. (2)

La tercera etapa o fase CAM refiere a la fabricación mediante métodos sustractivos o tecnologías aditivas, de diversos dispositivos de uso odontológico, tales como modelos dentales de diagnóstico o trabajo, provisionales, restauraciones indirectas totales o parciales, unitarias o múltiples, pilares de implantes, guías quirúrgicas, dispositivos ortopédicos, alineadores ortodónticos, prótesis dentales removibles parciales o completas, prótesis buco-maxilo-facial, etc. Esta fase puede ocurrir bajo 3 modalidades diferentes: *Chairside*, es decir en el consultorio odontológico, *Inhouse*, en el laboratorio dental u *Outhouse*, en un centro de fabricación tercerizado. (4)

Actualmente la oferta de hardware y software CAD/CAM disponibles en el mercado odontológico es abrumadora y tiende a aumentar y actualizarse año a año, por lo que es de suma importancia estudiar y comprender las bases de su funcionamiento, así como el alcance y las limitaciones tecnológicas, antes de incorporarlas a la práctica clínica diaria. (5)

En el anexo se exponen dos casos clínicos que ejemplifican flujos digitales de trabajo directo e indirecto.

5. DESARROLLO

5.1. Escáner intraoral

5.1.1. Reseña histórica

Los sistemas de diseño y fabricación asistida por computadora fueron desarrollados en 1950 por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos para ser utilizados en la industria aeronáutica y automotriz. El Dr. François Duret fue el primero en proponer estos conceptos CAD/CAM al mundo odontológico a través de su tesis titulada "*Empreinte Optique*" (Impresión óptica), presentada en la Universidad Claude Bernard de Lyon, Francia, en 1973. El primer prototipo dental CAD/CAM se presentó en 1983 en la conferencia de Garanciere y dos años más tarde, en el congreso internacional de la Asociación Dental Francesa se realizó en público el fresado e instalación de la primera corona en un paciente, sin participación del laboratorio dental. (6)

El primer escáner intraoral, abreviado de acá en adelante como IOS (*Intraoral Scanner*), fue introducido en la década de 1980. El Dr. Werner Mörmann y el Ing. Marco Brandestini iniciaron el desarrollo del sistema dental CEREC CAD/CAM (acrónimo de *Ceramic Reconstruction*), en la universidad de Zurich, Suiza. Fue lanzado al mercado por Sirona Dental Systems en 1987, siendo el pionero en proporcionar a los dentistas la posibilidad de fabricar *in situ* restauraciones de cerámica en una sola sesión. (7)

Desde entonces, muchas empresas han investigado, desarrollado y mejorado las tecnologías.

5.1.2. ¿Qué es un escáner intraoral?

Un IOS es un dispositivo informático diseñado para digitalizar y capturar la geometría tridimensional de las estructuras intraorales de un paciente, sin contacto físico. Estos sistemas (Fig. 2) se componen de tres elementos básicos, el hardware que es el elemento óptico de alta precisión (cámara o escáner propiamente dicho) que permite el registro de los datos intraorales, un ordenador y un software de captura o reconstrucción que procesa la información adquirida para crear imágenes tridimensionales expresadas en diferentes formatos de archivo. A continuación, el archivo generado se podrá exportar a un software de diseño asistido por computadora (etapa CAD). (8)

Los IOSs se basan en diferentes tecnologías y su comprensión y elección puede repercutir en el uso clínico.

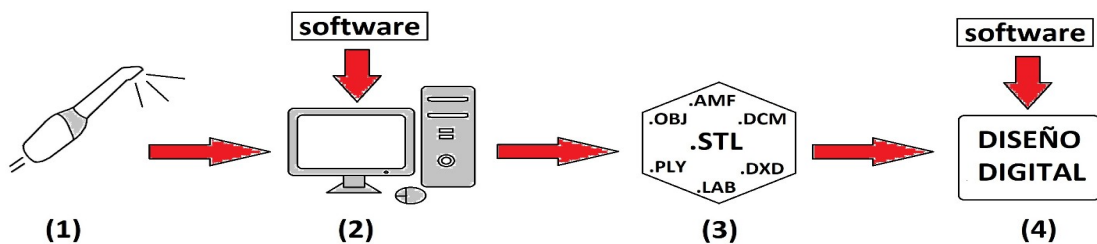


Figura 2: (1) Hardware. (2) Ordenador + software de adquisición. (3) Archivos 3D. (4) Software CAD. Imagen creada por el autor.

5.1.3. Tecnologías aplicadas a la captura de datos digitales:

Para lograr un mapeo tridimensional de la cavidad oral los escáneres utilizan diferentes tecnologías fundamentadas en modelos matemáticos y principios ópticos que se basan en la medición de la luz que refleja la estructura que se pretende digitalizar. El modo de adquisición o captura de datos puede ocurrir mediante filmaciones de video o por recopilación de cientos de imágenes fotográficas individuales. (9)

Todos los escáneres disponibles actualmente combinan varias técnicas de imagen para minimizar el ruido que surge al escanear dentro de la cavidad oral, donde

además de existir humedad y movimientos relativos aleatorios del operador y paciente, se encuentran estructuras de diferente naturaleza, con características ópticas también diferentes, es decir, tejidos dentales y gingivales, restauraciones metálicas, cerámicas, resinas, etc., todas ellas con diferentes índices de reflectividad, refracción y translucidez. (1)

5.1.3.1. Principios tecnológicos:

A- Triangulación

La triangulación es una técnica utilizada en muchos campos para construir modelos digitales 3D mediante la recopilación de datos digitales de la forma de un objeto, sin necesidad de contactarlo, se basa en el principio de que la posición de un punto de un triángulo (el objeto) se puede calcular conociendo las posiciones y ángulos de dos puntos de vista. Se dividen en técnicas pasivas y activas. (1)

La triangulación pasiva o estereovisión pasiva es un principio similar a la percepción 3D de la visión humana. El dispositivo de escaneo no emite ningún tipo de luz, se basa en la detección de la luz ambiental reflejada por el objeto a escanear y mediante dos cámaras, cuyas respectivas distancias y angulaciones se conocen, es posible triangular píxeles similares de ambos planos 2D (un píxel es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital). Para esto se utilizan algoritmos paramétricos fundados en la geometría epipolar. (4)

La triangulación pasiva proporciona la mayor precisión entre los sistemas pero sólo los objetos de alto contraste y con bordes bien definidos se pueden medir con precisión, además, la luz ambiental afecta significativamente la capacidad del sistema para extraer con éxito todas las características deseadas. (8)

En los métodos de triangulación activa se proyecta un “haz de luz estructurada”, es decir, una proyección de un patrón conocido de píxeles, sobre el objeto a digitalizar y una cámara adquiere su reflejo para calcular la posición, profundidad y características superficiales del objeto. La cámara, el emisor de luz y el punto de luz forman un triángulo. La distancia entre la cámara y el emisor de luz representan un lado del triángulo, se conoce el ángulo con el emisor de luz y el ángulo con la cámara se puede determinar midiendo la ubicación del punto de luz. Estos tres datos determinan la forma y el tamaño del triángulo y dan la ubicación mediante coordenadas cartesianas x , y , z , generadas con cálculos trigonométricos que

describen la posición espacial tridimensional de cada punto (Fig. 3). En la mayoría de los casos se barre un patrón de bandas de luz láser, cuadrículas u otros patrones de luz, en lugar de un solo punto de luz, para acelerar el proceso de adquisición. (8)

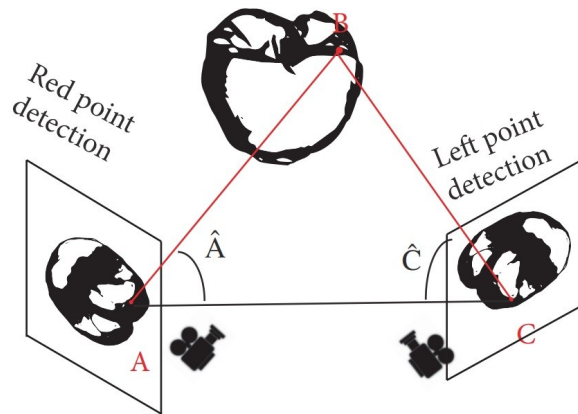


Figura 3: Método de triangulación: la distancia BC podría determinarse de acuerdo con la fórmula $BC = AC \times \sin(\hat{A}) / \sin(\hat{A} + \hat{C})$. Imagen extraída de (8).

En 1987 Sirona Dental System GMBH (Alemania) introdujo el sistema CEREC y en 2009 lanza el escáner CEREC Bluecam que funciona combinando principios de triangulación óptica activa con la técnica de microscopía confocal. (1,7,10) En 2012 aparece CEREC Omnicam que utiliza exclusivamente el principio de triangulación activa. (11) Los escáneres de Medit (12) y Carestream Dental también utilizan tecnologías de triangulación óptica.

B- Microscopía de escaneo láser confocal (CLSM):

La microscopía confocal fue patentada por Marvin Minsky en 1961, pero se terminó de desarrollar a fines de la década de 1980. Es una técnica para adquirir imágenes de alta resolución enfocadas y a profundidades seleccionadas, un proceso conocido como seccionamiento óptico. Esencialmente, la cámara captura sólo las partes de la imagen que están enfocadas a una distancia focal predeterminada. Al cambiar rápidamente el plano focal, se puede juntar una serie de imágenes para formar un modelo 3D. Las imágenes se adquieren punto por punto y se reconstruyen

mediante un software. Esta técnica permite reconstruir la superficie de objetos opacos y obtener la imagen interior de objetos no opacos. (1)

En el interior del dispositivo óptico se proyecta un haz de luz láser a través de una abertura (14 en Fig. 4) y se enfoca con una lente (11 en Fig. 4) sobre la superficie del objeto, éste dispersa y refleja la luz láser y la imagen es detectada por un dispositivo fotodetector (28 en Fig. 4) que convierte la señal de luz en una señal eléctrica que es registrada por la computadora. La luz detectada que se origina en el objeto iluminado representa un píxel en la imagen resultante. La tasa de adquisición de imágenes es de aproximadamente 1000 puntos de datos por segundo, lo que ayuda en el escaneo de alta velocidad. (10)

En definitiva la microscopía confocal es un buscador de rango óptico comparable a una cámara fotográfica réflex de lente única. Los objetos delante y detrás del plano de enfoque se muestran desenfocados y, por lo tanto, no se detectan. (13)

Los escáneres iTero de Align Technology (14) cuya primer versión salió al mercado de la mano de Cadent LTD en 2007, y el sistema Trios, lanzado en 2011 por 3Shape (15), utilizan este principio tecnológico. (7)

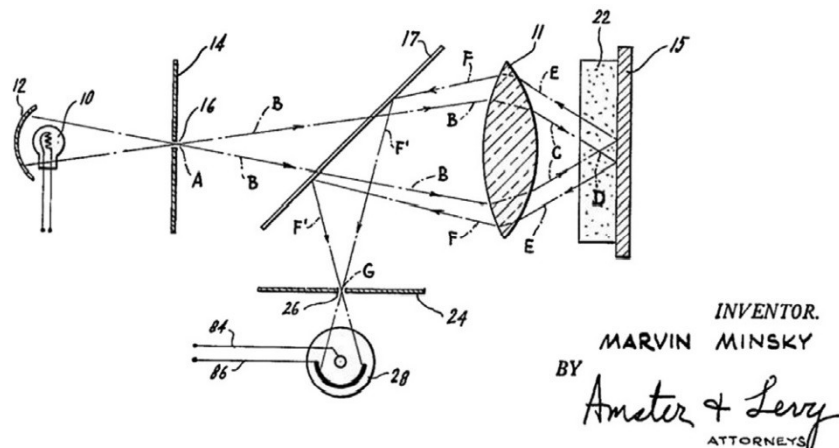


Figura 4: Principio de Microscopía Láser Confocal. Imagen extraída de (1).

C- Tomografía de coherencia óptica

El sistema de escaneo E4D Dentist, introducido por D4D Technologies LLC en 2008, utiliza un digitalizador configurado como una tomógrafo de coherencia óptica.

Es una técnica de obtención de imágenes por interferometría de baja coherencia que proporciona visualización en corte transversal. (4) Actualmente este sistema no se encuentra disponible para su comercialización.

D- Muestreo de frente de onda activo

El muestreo de frente de onda activo (*Active Wavefront Sampling -AWS-*) puede clasificarse como una técnica de triangulación pasiva. (9) Es un método de imágenes de superficie en 3D, que utiliza una sola cámara y un módulo AWS. Básicamente un módulo AWS es una apertura fuera del eje que se mueve en una trayectoria circular alrededor del eje óptico. Este movimiento produce la rotación de los puntos objetivo en un círculo en el plano de la imagen (Fig. 5). Esto elimina la necesidad de múltiples cámaras para adquirir este tipo de geometrías, sólo requiere una trayectoria óptica para capturar información de profundidad. (8)

El escáner True Definition de 3M Espe utiliza este principio y fue presentado por primera vez en el IDS 2013. En 2019 fue vendido a Midmark Corp. (16) Si bien fue evaluado en múltiples artículos científicos, (17–19) parece haber desaparecido del mercado actual.

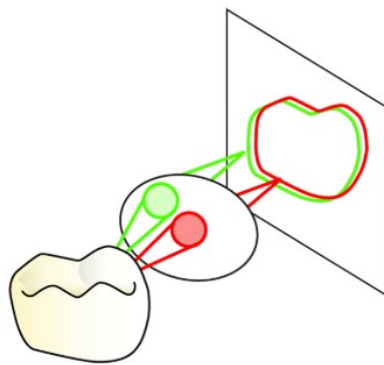


Figura 5: El AWS requiere una trayectoria circular alrededor del eje óptico y produce una rotación de puntos de interés. Imagen extraída de (20).

E- Imágenes Multiscan

La técnica de captura 3D Multiscan es un desarrollo adicional del principio de triangulación. Con 10 cámaras intraorales y 5 proyectores correspondientes

colocados en múltiples orientaciones, es posible capturar desde diferentes perspectivas los puntos negros proyectados por el sistema sobre la superficie del objeto a escanear. Dental Wings (Canadá) presentó por primera vez esta tecnología en 2015. (9) Actualmente la firma pertenece a Straumann Grup y el escáner Virtuo Vivo (21) continúa con el desarrollo de la tecnología Multiscan Imaging.

F- Estereofotogrametría

Las tecnologías descritas anteriormente permiten la construcción de IOSs tipo tridimensionales, ya que proyectan una fuente de luz sobre las estructuras a escanear, dicha luz se refleja en el objeto y es capturada por sensores de imágenes. Estas imágenes son procesadas por el software de escaneo, generando nubes de puntos que son triangulados por el mismo software para crear una malla que da lugar a un modelo de superficie 3D. Luego los algoritmos de software colorean el modelo.

A diferencia de las anteriores, la estereofotogrametría no requiere la emisión de ningún tipo de luz, simplemente estima todas las coordenadas (x, y, z) con un análisis algorítmico de imágenes. Así, varias imágenes fotográficas individuales del objeto a digitalizar, tomadas en diferentes ángulos y conociendo sus coordenadas, se pueden convertir en un modelo 3D. Este principio tecnológico requiere de un hardware muy sencillo, similar a una cámara de video intraoral (Fig. 6), y de un complejo software que hace todo el trabajo. (20) Una desventaja de estos sistemas es la especificidad de la distancia focal durante el escaneado, si la distancia entre la superficie a escanear y la cámara no es adecuada, el escáner no podrá captar adecuadamente las imágenes, lo cual lo hace difícil de manejar. (22)

En ocasiones el sistema incorpora guías de plástico que se acoplan al cabezal del escáner para lograr mantener una distancia focal óptima.

El escáner Condor Arch 1 - Tray Scanner (23) y el escáner WOW de Biotech Dental, (18) cuyas patentes fueron desarrolladas por el profesor François Duret (24,25) se basan en este principio tecnológico.

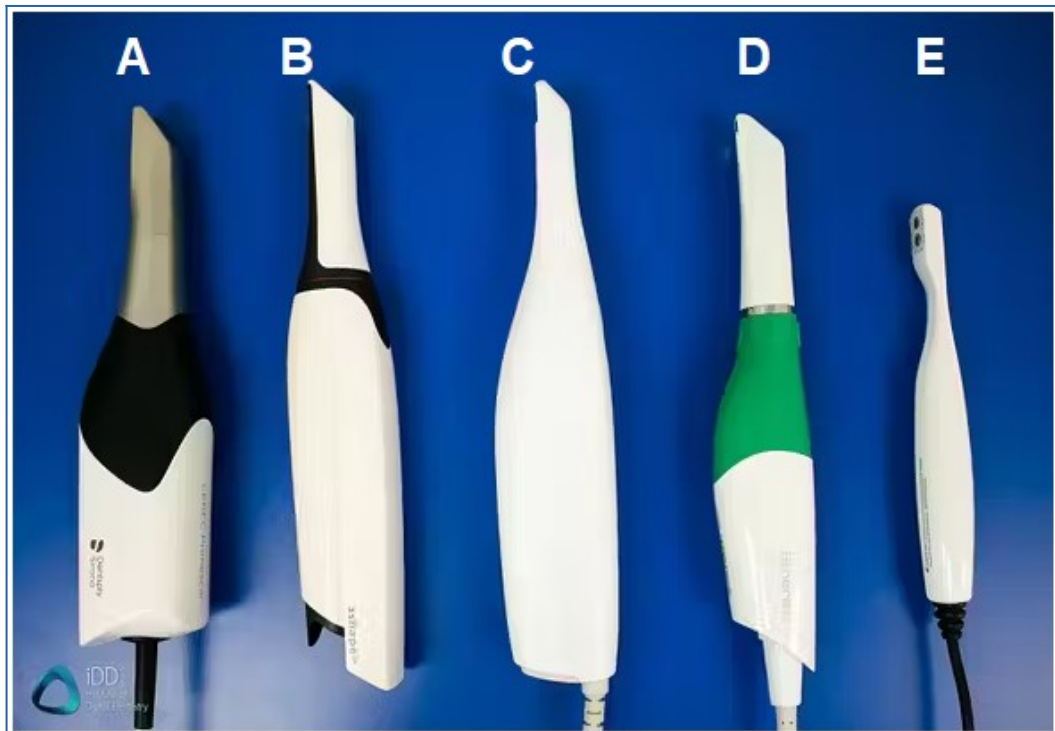


Figura 6: Comparación de 5 IOSs que emplean diferentes tecnologías.

La complejidad de la tecnología incide en el tamaño y el peso del IOS. (A), (B), (C) y (D) son escáneres 3D, mientras que (E) es un IOSs que funciona según el principio de estereofotogrametría. Imagen extraída de (22).

(A) Dentsply Sirona, CEREC Primescan (524g de peso).

(B) 3Shape, Trios 4 Wireless (375g).

(C) Medit, i500 (280g).

(D) Planmeca, Emerald (235g).

(E) Biotech Dental, WOW (110g).

5.1.3.2. Procesamiento de los datos digitales:

Para poder producir un “modelo numérico 3D” el IOS debe generar la coincidencia de puntos de interés (PDI) tomados desde diferentes ángulos. Las distancias entre diferentes imágenes se logra con un cálculo de similitud para determinar el punto de vista de la imagen. Usando algoritmos, el cálculo de similitud define los PDI coincidentes en diferentes imágenes. Estos PDI se pueden encontrar mediante la detección de áreas de transición, como fuertes curvaturas, límites físicos o

diferencias de intensidad de gris. Luego se calcula una matriz de transformación para evaluar la similitud entre todas las imágenes, como la rotación o la homotecia. Los puntos extremos también se pueden eliminar estadísticamente para reducir el ruido. Cada coordenada (x, y, z) se extrae de la matriz de proyección y luego se genera el archivo. (8)

Independientemente de la tecnología que utilice el hardware para la adquisición de datos es necesario un potente procesador de software que va a ir generando una “nube de puntos” que representa la superficie del objeto que se está escaneando. La ubicación espacial de estos puntos se define por sus coordenadas cartesianas, y éstas se utilizan para la reconstrucción digital del objeto. (10)

En cada imagen que toma, el escáner recopila información sobre la distancia de cada punto desde la superficie del objeto, dentro de su campo de visión. Se realizan cientos de imágenes para registrar la superficie total de un arco dental. La conexión de puntos adyacentes mediante líneas rectas genera triángulos de diversos tamaños que dan lugar a una “malla” (Fig. 7 A), que posteriormente será utilizada para extrapolar la forma del objeto. El proceso de convertir una nube de puntos en un modelo digital 3D se llama “reconstrucción”. (26)

Una vez completado este proceso se genera un archivo informático de imagen 3D con extensión .STL (*Standard Tessellation Language*), que es el formato digital más utilizado y más básico. (27) Este formato ya se utiliza en muchos campos industriales y describe una sucesión de superficies trianguladas donde cada triángulo está definido por tres puntos y una superficie normal (Fig. 7 B). Sin embargo, se han desarrollado otros formatos de archivo para registrar el color, la transparencia o la textura de las estructuras, como .OBJ (*Wavefront 3D Object File*), o .PLY (*Polygon File Format*) que son de uso libre por diversos software de diseño, u otros formatos de archivos “propios” que pueden contener aún más información del paciente, desarrollados por los fabricantes del escáner y del software de diseño. (20)

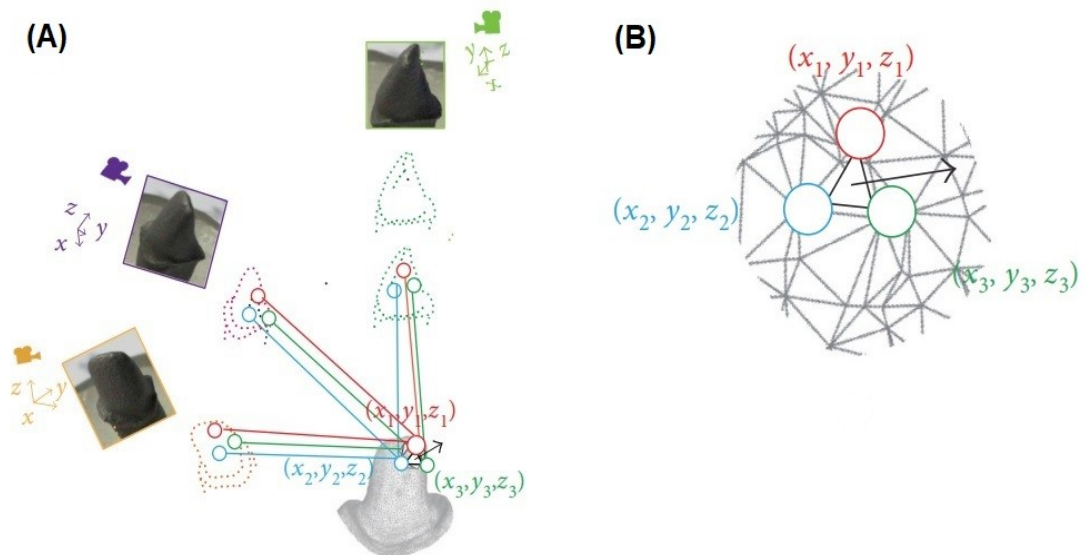


Figura 7: Generación de un archivo .STL.

(A) Representación esquemática de la tecnología de reconstrucción: se analiza cada imagen y el software selecciona los PDI. Después del cálculo de similitud entre diferentes imágenes, se define una coincidencia de PDI coincidentes y se generan triángulos con coordenadas mediante la matriz de proyección.

(B) Cada triángulo de un archivo .STL está compuesto por tres puntos con coordenadas cartesianas (x, y, z) y una superficie normal. Imagen extraída de (8).

La resolución de los archivos generados por los escáneres depende de la cantidad de triángulos utilizados para representar la superficie del objeto, esto se conoce como “densidad de malla” y puede variar según el software que controla el IOS. Por este motivo, escáneres con similares tecnologías de hardware pueden funcionar de manera muy diferente dependiendo de las variaciones en el software de control. Dicho software generará archivos con densidades de malla variables, pero no es relevante que haya una alta densidad en toda la pieza, debido al tiempo de cálculo que insume una malla de alta densidad. En general los archivos incorporan una malla de rutina en zonas planas y una malla más densa en zonas de curvaturas. De hecho, un gran número de triángulos es suficiente para seguir con precisión el perfil de emergencia, mientras que un número bajo podría conducir a suavizar los márgenes. (8)

Durante la generación del archivo 3D pueden producirse defectos geométricos, esto se conoce como “error de ajuste”, y se debe a los algoritmos que se usan durante el proceso de “interpolación”, es decir la aproximación probable de lo que hay entre

los puntos para formar la imagen digital. Los escáneres que generan mallas de alta densidad (mayor resolución) pueden dar lugar con mayor facilidad a la producción de una imagen digital fiel a la realidad, mientras que los que tienen baja densidad (menor resolución) pueden introducir errores, debido a la falta de información digital lo que provoca defectos dimensionales, curvaturas no existentes o discontinuidad en la imagen digital (Fig. 8). (20)

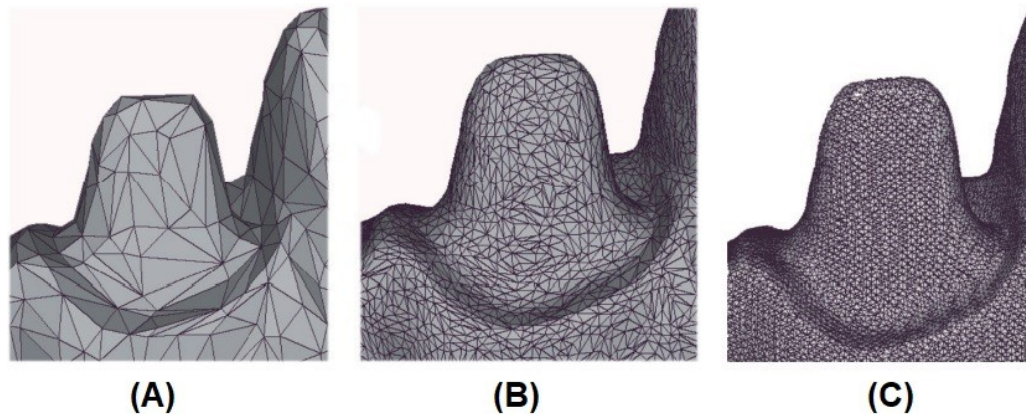


Figura 8: Comparación de archivos .STL según densidad de malla.
(A) Baja densidad. (B) Densidad media. (C) Alta densidad. Imagen extraída de (8).

5.1.4. Beneficios y limitaciones de las impresiones digitales:

La mayoría de los procedimientos de toma de impresiones todavía se llevan a cabo utilizando métodos convencionales, es decir, con cubeta y materiales de impresión, sin embargo, no hay duda de que la toma de impresiones con IOSs y la posterior generación de un archivo digital ofrece numerosos beneficios que se destacan en varios artículos. (9,20,28–30)

a. Beneficios:

- En primera instancia el escáner intraoral es una excelente herramienta de diagnóstico, comunicación y marketing. Utilizar un escáner es más cómodo y mejor aceptado por el paciente, se ven más implicados en su tratamiento y es posible establecer una comunicación más eficaz con ellos; esta implicación emocional puede tener un impacto positivo en el

tratamiento global. Estudios clínicos demuestran la preferencia de las impresiones digitales sobre las convencionales. (31)

- Se elimina la necesidad de utilizar materiales de impresión, de registro, de vaciado, cubetas y desinfectantes. Consecuentemente se eliminan las posibles distorsiones y cambios dimensionales que sufren los materiales. Además el modelo digital no sufre alteraciones, siempre está disponible en la calidad original. Esto trae aparejado un ahorro de materiales, evitando los productos de desecho y, por lo tanto, es ventajoso en términos de sostenibilidad y conservación de recursos. (29)
- La utilización de escáneres permite una importante reducción del tiempo que requiere el proceso de toma de impresión, si bien los dispositivos más modernos permiten un escaneo de arco completo en menos de 1 minuto, las principales diferencias en la eficiencia del tiempo no proviene del acto de tomar una impresión en sí mismo, sino más bien del tiempo que se ahorra durante todos los pasos previos y posteriores. No hay que seleccionar cubetas ni preparar los materiales de impresión. Se elimina la necesidad de desinfección y preparación para enviar al laboratorio. (30)
- Los IOSs permiten la posibilidad de segmentar los sectores de la arcada dentaria a impresionar en diversas sesiones clínicas y así, eventualmente, generar un caso complejo en las citas que sean necesarias.
- Permiten opciones *chairside*, o sea, restauraciones CAD/CAM en una sola consulta. (4)
- Rápida y fluida comunicación con el laboratorio dental y otras especialidades odontológicas mediante transferencia de datos digitales a través de sistemas basados en la nube.
- Con las impresiones digitales la visualización de los resultados ocurre en tiempo real, lo que permite analizar la calidad del modelo 3D inmediatamente. Si los resultados no son satisfactorios, es muy fácil y rápido repetir la impresión, además se puede repetir de modo selectivo.
- Múltiples herramientas de software permiten tomar fotografías intraorales en alta definición, magnificar las imágenes y analizar inmediatamente en la pantalla de la computadora la preparación dentaria, monitoreando parámetros como el eje de inserción de la restauración, espesores de tallado, delimitación de bordes cavo, relación con las piezas antagonistas e intensidad de contactos oclusales.

- La mayoría de los IOSs permiten la reproducción de las relaciones estáticas de intercuspidación de dientes y algunos permiten registrar movimientos excursivos por medio de articuladores digitales. (32)
- Los modelos digitales se pueden archivar de manera más simple y eficiente sin ocupar espacio físico. También es posible llevar un seguimiento virtual de los pacientes mediante comparaciones tridimensionales de los modelos digitales iniciales y los capturados a lo largo del tiempo.
- La representación del color verdadero y la determinación o medición selectiva del color es un hecho en la mayoría de los escáneres actuales.
- Posibilidad de fusión de datos: Un conjunto de datos digitales se puede vincular a otros conjuntos de datos, como un escaneo facial o imágenes de radiografías 3D (tomografía computarizada de haz cónico [CBCT]). Esto permite un rango adicional, más extenso y particularmente completo de posibilidades de diagnóstico y tratamiento. (27)
- Potencial ahorro de costos económicos en materia de transporte o cadetería, materiales dentales y cubetas.

b. Limitaciones:

- Existe una curva de aprendizaje necesaria para la adopción de tecnologías CAD/CAM en la clínica dental. (2)
- Dificultad para detectar líneas marginales profundas en dientes preparados o en el caso de sangrado, a diferencia de los materiales de impresión convencionales, la luz no puede separar físicamente la encía y, por lo tanto, no puede registrar áreas "no visibles". Una buena impresión óptica o analógica es el resultado de muchos factores, a saber, la calidad de la preparación, el cumplimiento del paciente con la higiene bucal y la bondad de las restauraciones provisionales; al igual que con las impresiones convencionales, los tejidos blandos sanos son esenciales para una buena impresión óptica. Todas estas consideraciones son válidas para los dientes naturales, pero no para los implantes dentales, donde el uso de *scan body* facilita la toma de impresiones digitales. (30)
- Costos de compra y gestión. En los últimos años, los fabricantes han lanzado al mercado muchos modelos nuevos, y la mayor oferta debería ir acompañada de una reducción de los costos de compra. Un aspecto importante a considerar son los costos de administración adicionales

relacionados con las actualizaciones del software de reconstrucción. Las diferentes empresas de fabricación tienen distintas políticas a este respecto, y es importante estar informado de los costos y las tarifas anuales de gestión. (27) Por último, en el caso de sistemas "cerrados", o con escáneres que sólo generan formatos de archivo propios, es posible que se requiera una tarifa anual o mensual para "desbloquear" los archivos y hacerlos utilizables por cualquier software CAD o cualquier laboratorio. (5)

5.1.5. Aspectos relevantes en la selección de un sistema de escaneo intraoral

Si bien los IOSs son herramientas polifuncionales, su principal cometido es reemplazar las impresiones analógicas por impresiones digitales. Por lo tanto, desde el punto de vista clínico deben ser eficientes para realizar esta tarea.

Completar un escaneo intraoral no es simplemente una cuestión de mover el escáner dentro de la cavidad bucal, el escáner necesita adquirir "datos útiles" de manera consistente para la reconstrucción del modelo 3D. En el caso de que el escáner haya capturado datos incorrectos, es decir, lengua, mejillas, dedos, etc., debe poder corregirlos, preferiblemente sobre la marcha y sin la intervención del usuario.

La eficiencia de escaneo se puede examinar según tres variables (33):



- **Velocidad de escaneo** ¿Qué tan rápido se puede mover el escáner antes de que se interrumpa el flujo?
- **Adquisición de datos** ¿Cuántos datos útiles puede adquirir el escáner de una sola pasada?
- **Inteligencia artificial (IA)** ¿Qué tan efectivo es el software de adquisición para corregir desviaciones e interferencias, por ejemplo de tejidos blandos?

La IA es la combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear máquinas que imitan las funciones cognitivas de los seres humanos. En relación a los IOSs la IA se puede definir como la capacidad del sistema para interpretar correctamente datos externos, aprender de dichos datos y emplear esos conocimientos para lograr tareas y metas concretas a través de la adaptación flexible. Esta característica es clave para lograr exactitud en los archivos generados.

Siguiendo a Al-Hassiny (5) identificamos cualidades de los sistemas de escaneo intraoral, que podrían colaborar en la selección del IOS que más se adecue a las necesidades de la práctica clínica y para la comparación de los IOSs entre sí:

- Velocidad del escáner:

La velocidad de escaneo ha mejorado significativamente a lo largo de los años y ya no es el criterio más importante a la hora de seleccionar un IOS. Con la mayoría de los escáneres actuales es posible realizar el escaneo de una arcada completa en menos de 60 segundos.

- Flujo de escaneo:

Refiere a lo fluida que es la experiencia de escaneo, es decir ¿El escáner se pierde o detiene frecuentemente durante la impresión digital? ¿El escáner maneja bien las esquinas y la zona anterior sin perderse cuando se mueve de un cuadrante a otro? ¿El escaneo continúa rápidamente donde se quedó cuando se interrumpe? ¿Qué tan bien une el escáner las imágenes? ¿Qué tan bien elimina los artefactos causados por los tejidos blandos?

- Facilidad de uso:

Se basa en la interfaz de usuario del software de adquisición y en la fluidez del proceso de escaneo, es decir qué tan intuitivo es. Este criterio tiene en cuenta el rendimiento del hardware y el software y si hubo algún problema con el escaneo, el procesamiento y el flujo de trabajo general.

- Tamaño del escáner:

Este criterio tiene que ver con la ergonomía, no se basa sólo en el tamaño del cabezal del escáner, sino en el tamaño y peso general del escáner (Fig. 6), lo

cómodo que se siente el escáner en la mano y mientras se escanea. Si bien un cabezal de escáner más pequeño puede ser más cómodo, los cabezales más grandes tienen una ventana de escaneo más grande y, por lo tanto, requieren menos movimiento para capturar los mismos datos.

- Requisitos de suscripción o paquetes de mantenimiento:

Algunos escáneres requieren suscripciones anuales vinculadas con su software. Esto incluye tarifas mensuales o anuales vinculadas con "paquetes de mantenimiento" que cubren actualizaciones de software, mantenimiento, servicio y soporte continuo o uso de la nube. Mientras que otros escáneres tienen suscripciones que se requieren incluso para usar el escáner en sí. Por lo tanto, la suscripción puede ser obligatoria, recomendada o no requerida. Esta puede ser una consideración clave para los odontólogos que pretenden incorporar un IOS.

- Exportación de archivos digitales:

Hasta hace algún tiempo los archivos generados por el sistema de escaneo podían ser abiertos o cerrados, actualmente casi todos los IOSs están abiertos y permiten exportar al menos uno de los siguientes archivos de origen .STL, .OBJ y / o .PLY. Bajo la presión del mercado, muchos escáneres que antes estaban cerrados ahora permiten exportar estos archivos. Esto posibilita una mayor flexibilidad y control sobre la tecnología.

- Integración CAD/CAM:

El software del escáner puede tener funciones de diseño y fabricación CAD/CAM integradas o de lo contrario los archivos deben exportarse a un software de terceros para poder diseñar restauraciones o dispositivos dentales.

- Características complementarias:

Puntas de escaneo esterilizables en autoclave ¿cuantos ciclos permiten?

Tecnología LED UV-C incorporada, para la desinfección interna.

Diferentes opciones de configuración: USB para conectar a una computadora, en un carro todo integrado u opción inalámbrica.

El escáner incluye funciones adicionales como detección de caries por transiluminación o fluorescencia.

Posibilidad de integrarse a una pantalla táctil.

5.1.6. Clasificación de los escáneres intraorales:

Considerando únicamente el hardware, los IOSs pueden clasificarse en base a las tecnologías utilizadas para la adquisición de datos y según el modo de captura de datos. (9,18)

- Según el principio de captura de datos:
 - Triangulación activa
 - Microscopía confocal
 - Tomografía de coherencia óptica
 - Muestreo de frente de onda activo
 - Análisis de contraste de alta frecuencia
 - Estereofotogrametría
- Según el modo de captura de datos:
 - Sistema que adquiere y une imágenes individuales
 - Sistema de secuencia de video
 - Técnica de seccionamiento óptico ultrarrápido

A modo de ejemplificar sistemas actuales, los IOSs Carestream CS3600 y Medit i500 son escáneres que utilizan triangulación activa. El CS3600 es un sistema de secuencia de video, y el i500 usa un método de unión de imágenes individuales. El 3Shape Trios 3 utiliza el principio de microscopía confocal y la técnica de seccionamiento óptico ultrarrápido. El recientemente lanzado Primescan de Dentsply Sirona utiliza una nueva técnica de escaneo, análisis de contraste de alta frecuencia y escaneo dinámico de profundidad. (13)

Desde una perspectiva clínica Huhuan (33) plantea dos clasificaciones cualitativas según la facilidad de uso de los IOSs. La primera, en función de uno de los componentes de la eficiencia, la velocidad de escaneo, basada en un sistema de tres niveles según el tiempo que insume la toma de una impresión analógica:

- **Nivel 3:** El escáner puede completar un escaneo de arco completo y exportar un modelo .STL con éxito, sin límite de tiempo.

- **Nivel 2:** El escáner puede digitalizar una arcada completa y exportar un modelo .STL más rápido de lo que llevaría tomar una impresión con siliconas; alrededor de 5 minutos.
- **Nivel 1:** El escáner puede completar dichas tareas más rápido de lo que llevaría tomar una impresión con alginato; alrededor de 1 minuto.

En la otra clasificación se considera que los diferentes sistemas de escaneo cumplen funciones diferentes, por tanto, es posible agruparlos en tres clases según la capacidad de integración CAD/CAM que ofrece el sistema dentro del flujo de trabajo digital (Fig. 9):

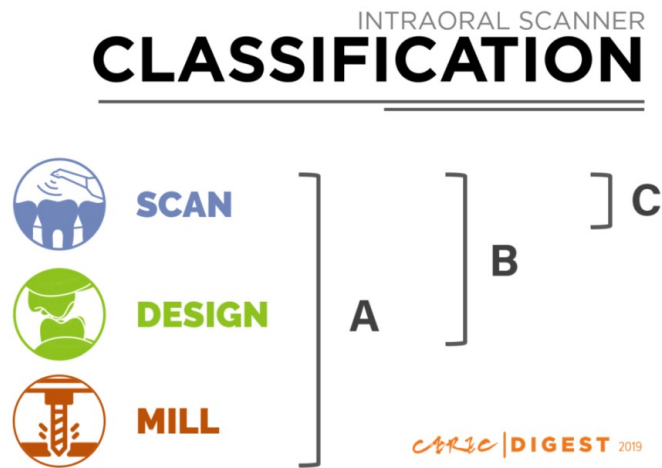


Figura 9: Clasificación de los escáneres según integración CAD/CAM. Imagen extraída de (33).

- **Clase A:** El fabricante ofrece su propio escáner, software de diseño y unidad de manufactura, es decir integra un flujo de trabajo CAD/CAM completo.
- **Clase B:** El fabricante ofrece únicamente su propio escáner y software CAD.
- **Clase C:** El fabricante ofrece solamente el escáner intraoral para escanear y exportar archivos abiertos a un software CAD de terceros.

5.1.7. Escáneres intraorales disponibles en la actualidad

Es un hecho que la tecnología cada vez avanza más rápido y en forma no lineal sino exponencial. Actualmente la industria dental ha puesto a disposición de los odontólogos una cantidad inmensa de sistemas de digitalización. La evolución de los escáneres intraorales está siendo tan rápida en los últimos años que muchas veces no da el tiempo a tener estudios que los validen adecuadamente, lo que se conoce como “Darwinismo Científico”. El hecho de que la tecnología y la sociedad evolucionan a un ritmo mucho más acelerado que nuestra capacidad de adaptación, fue descrito por Bryan Solis y denominado bajo el concepto de “Darwinismo digital”. (34) Prueba de esto es la gran cantidad de IOSs disponibles para su comercialización, aún no avalados por la literatura científica.

Utilizando el motor de búsqueda Google se examinó en la web qué sistemas de escaneo intraoral se encuentren disponibles para su comercialización en octubre del 2022. Se utilizaron las palabras “escáner intraoral” tanto en inglés como en español y se identificaron 32 escáneres, provenientes de 19 fabricantes, disponibles actualmente en el mercado internacional. Se clasificaron según su integración CAD/CAM:

Clase A:

- Dentsply Sirona (11) (Estados Unidos, Alemania)
 - CEREC Omnicam (2012)
 - CEREC Primescan (2019)
- Planmeca (35) (Finlandia)
 - Emerald
 - Emerald S (2019)

Clase B:

- 3Shape (15) (Dinamarca)
 - TRIOS 3 (2015)
 - TRIOS 4 Wireless (2019)
 - TRIOS 5 Wireless (2022)
- Dental Wings (21) (Grupo Straumann – Suiza)
 - Virtuo Vivo (2019)

Clase C:

- Medit (12) (Corea del Sur)
 - i500 (2018)
 - i600 (2022)
 - i700 (2021)
 - i700 Wireless (2022)
- Align Technology (14) (Estados Unidos)
 - iTero Element 5D (2019)
 - iTero Element 5D Plus (2021)
- Carestream Dental* (36) (Estados Unidos)
 - CS 3600 (2016)
 - CS 3700 (2019)
 - CS 3800 (2021)

* La marca Carestream Dental fue comprada por Envista Holdings Corp. y los escáneres comenzarán a denominarse “Dexis IS 3600 / IS 3700 / IS 3800” a partir del 2022.
- 3Disc (37) (Estados Unidos, Francia y Corea del Sur)
 - Heron IOS (2020)
- Biotech Dental (24) (Francia)
 - WOW (2019)
- Condor Technology (23) (Bélgica)
 - Arch 1 Tray scanner (escáner de cubeta) (2021)
- Shining 3D (38) (China)
 - Aoralscan (2019)
 - Aoralscan 3 (2021)
- Launca (39) (China)
 - DL 206 (2020)
- Ningbo Runyes Medical Instrument (40) (China)
 - Runyes 3DS (2018)
 - Runyes 3DS 2.0
- AlliedStar (41) (China)
 - AS 100 (2021)
- Fussen Technology Co. (42) (China)
 - Fussen S6000 (2020)
- Eighteeth (43) (China)

- Helios 600 (2022)
- Panda Scanner (44) (China)
 - Panda P2 (2019)
 - Panda P3 (Se anuncia como un próximo lanzamiento)
- Dynamic Grup (45) (China)
 - DDS300 (2021) igual a AS100
- Aidite Technology Co. (46) (China)
 - Cameo Elegant 3

Los escáneres a continuación se encontraron en la literatura o eventos IDS anteriores, pero actualmente parecen no estar disponibles en el mercado.

- GC Aadvia IOS 200
- VOCO IO-Scan
- 3M True Definition Scanner
- Vatech EzScan
- KaVo X Pro

5.2. Exactitud de los escáneres intraorales

El conocimiento de los posibles errores aleatorios y sistemáticos en la exactitud de los escáneres intraorales puede ayudar a seleccionar un sistema de escaneo que satisfaga las necesidades clínicas y lograr restauraciones exitosas con esta tecnología.

El estándar 132 del Instituto Nacional Estadounidense de Estándares y la Asociación Dental Estadounidense (ANSI/ADA) establece el protocolo estándar para que los fabricantes y las instituciones de testeo midan la exactitud de escaneo de los sistemas IOSs en un entorno *in vitro*. Actualmente, no existe un estándar ANSI/ADA para medir la exactitud *in vivo* de los IOSs. (47)

La exactitud de una impresión digital puede estudiarse mediante un enfoque indirecto evaluando la adaptación marginal o el ajuste interno de la restauración. Clínicamente, se ha informado que una restauración con una discrepancia marginal de menos de 120 μm es aceptable y se ha encontrado que la exactitud de las restauraciones generadas por CAD/CAM a partir de impresiones digitales para dientes únicos y prótesis fijas cortas tiene una exactitud similar o mejor que el de las restauraciones fabricadas en laboratorio utilizando técnicas de impresión tradicionales. (3,31,48,49) Sin embargo, dado que pueden ocurrir errores al fabricar

o asentar la restauración, este método de evaluación del rendimiento de los IOSs tiene limitaciones intrínsecas.

En forma directa, se utilizan métodos de análisis de ingeniería bien establecidos. El procedimiento más comúnmente empleado es el análisis tridimensional generado al superponer el modelo digital (obtenido con un IOS) con un modelo de referencia (obtenido con un escáner de laboratorio óptico o táctil, de alta exactitud) utilizando algoritmos de mejor ajuste y calculando las diferencias medias de las áreas superficiales (Fig. 10). (50)

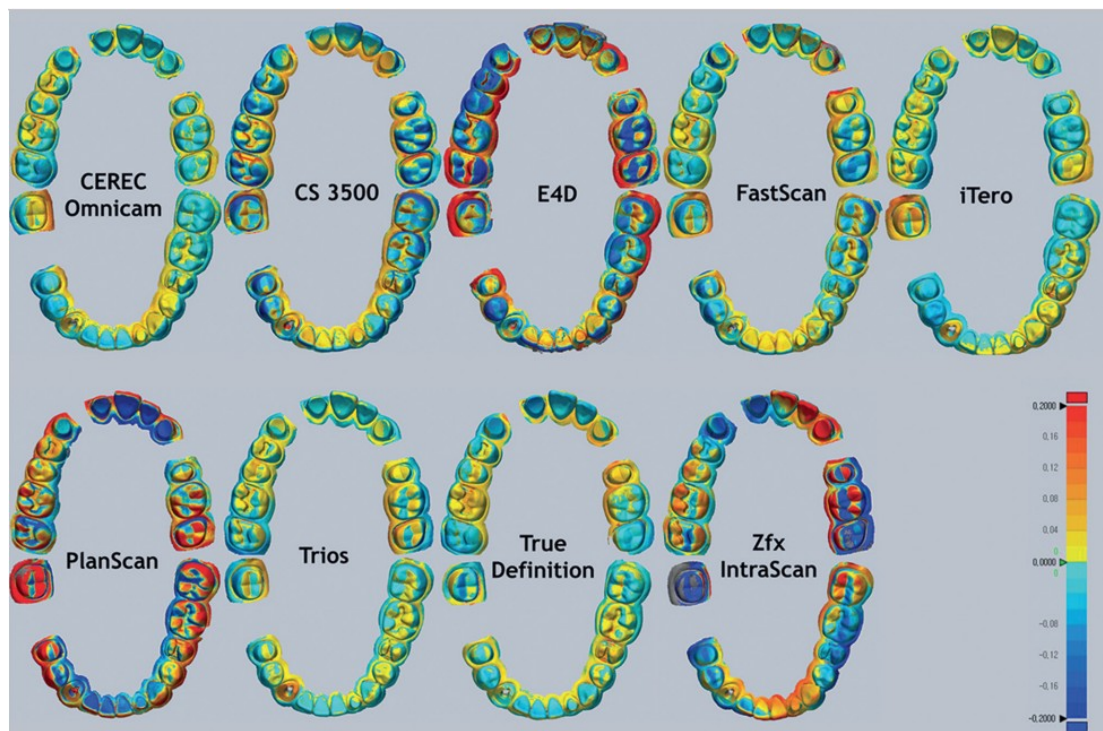


Figura 10: Ejemplo de análisis de desviación 3D.

Se presentan impresiones digitales adquiridas con 9 IOSs diferentes y relacionadas comparativamente con el escaneo de referencia. El rango de desviación está codificado por un mapa de colores y va desde -200 µm (azul) hasta +200 µm (rojo). Las impresiones adquiridas con los IOSs E4D, PlanScan y Zfx IntraScan presentan importantes desviaciones positivas y negativas.

Imagen extraída de (18).

Otro método directo se utiliza para medir distancias lineales, ángulos o planos, usando objetos geométricos calibrados, generalmente esferas metálicas, que se

fijan al arco dental y permiten la comparación de los valores medidos con el valor de referencia ya conocido (Fig. 11). Las desviaciones entre dos conjuntos de datos se pueden visualizar, medir o comparar superficies 3D, mediante diversos software de análisis 3D. (50)

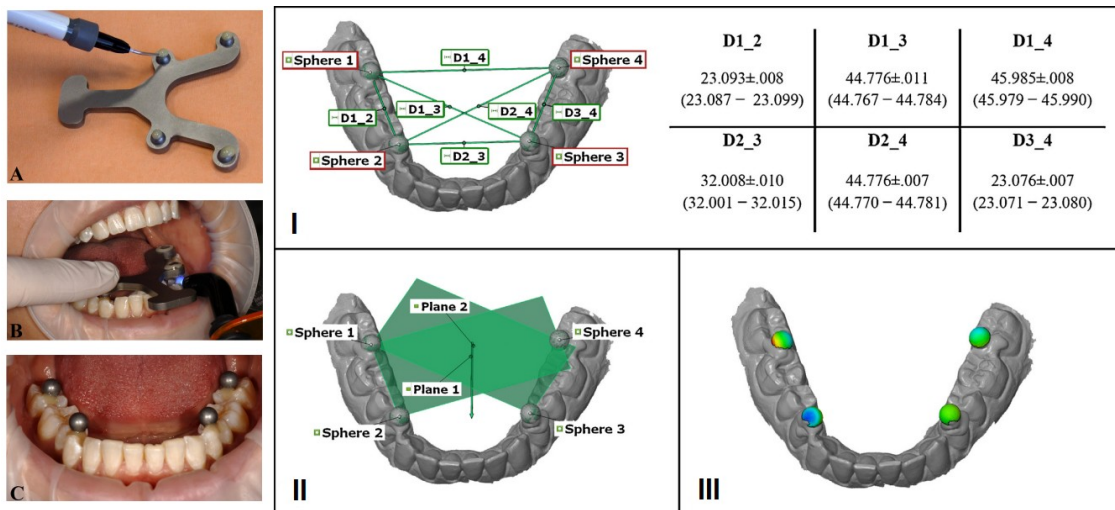


Figura 11: Ejemplo de 3 procedimientos analíticos directos diferentes.

Con la ayuda de una guía calibrada de transferencia (A) se cementan con resina compuesta 4 esferas metálicas de referencia (B) en la arcada dentaria (C).

I- Medición y análisis de las distancias lineales entre los centros de las esferas.

II- Medición de ángulos entre los vectores normales de dos planos construidos.

III- Superposición de las esferas de referencia utilizando un algoritmo de mejor ajuste.

Imagen extraída de (50) y modificada por el autor.

En general, los términos **exactitud y precisión** son usados como sinónimos, sin embargo en ciencias como la ingeniería y la métrica el significado es diferente. La Organización Internacional de Normalización (ISO), mediante su norma ISO 5725-1 define varios conceptos que pretenden evaluar la exactitud de resultados y métodos de medición: (51,52)

En primer lugar, el valor verdadero de una característica cuantitativa es un concepto teórico y, en general, no se puede conocer con exactitud. Por analogía con un arquero que dispara flechas a un blanco de tiro (Fig. 12), el centro de la diana u objetivo se puede definir como el valor verdadero. Si el valor medio de varios

disparos está cerca del centro del objetivo, el resultado es calificado como veraz o auténtico (Fig. 12 B). La autenticidad o **veracidad** (*trueness*) es la proximidad de la concordancia entre la media aritmética de un gran número de resultados de medición y el valor verdadero de referencia. Expresa en qué medida el promedio de una serie de mediciones se acerca al valor verdadero, en definitiva es la mejor aproximación de los datos obtenidos a la realidad y refiere a la capacidad de un escáner para reproducir un arco dental con la menor distorsión geométrica posible. Por lo tanto, un escáner con alta veracidad entrega un resultado cercano o igual a una referencia reconocida como las verdaderas dimensiones del objeto que se escanea. Para evaluar matemáticamente la veracidad de una impresión digital tomada con un IOS se requiere comparar con un modelo de referencia adquirido con un aparato de precisión certificada, como una máquina de medición de coordenadas o un escáner industrial o de escritorio. (53) La comparación se logra superponiendo los archivos 3D obtenidos con el IOS sobre los archivos generados con el escáner industrial.

Siguiendo el mismo ejemplo, si varios disparos están cerca unos de otros, los resultados pueden calificarse como "precisos" (Fig. 12 C) La **precisión** (*precision*) es la proximidad de la concordancia entre los resultados de mediciones repetidas e independientes obtenidas en condiciones estipuladas, depende sólo de la distribución de errores aleatorios y no se relaciona con el valor verdadero. En definitiva es la capacidad de una medición en ser reproducida consistentemente. Representa en qué medida las imágenes adquiridas por varios escaneos, bajo las mismas condiciones, son idénticas entre sí. Para evaluar la precisión no se requiere una referencia, basta con comparar las adquisiciones realizadas con el mismo escáner y evaluar las desviaciones entre ellas. Por lo tanto, un escáner con mayor precisión indica un escaneo más repetible, consistente y menos disperso. (52)

Volviendo al ejemplo del arquero, si los disparos están cerca entre sí (son precisos) y cercanos al centro del objetivo (son veraces), los resultados pueden calificarse como "exactos" (Fig. 12 D). La **exactitud** (*accuracy*) es la proximidad de la concordancia entre el resultado de una medición y el valor verdadero, es la combinación de veracidad y precisión. Aún siendo definiciones parecidas, la exactitud tiene que ver con la cercanía al valor real y la precisión se refiere sólo a la repetitividad en distintas mediciones. (51) Por lo tanto, la exactitud de una impresión digital adquirida con un IOSs es vital para asegurar un adecuado ajuste de las restauraciones dentales y la correcta articulación virtual de los modelos.

EXACTITUD = VERACIDAD + PRECISIÓN

↓
Cercanía al
valor real

↓
Repetibilidad

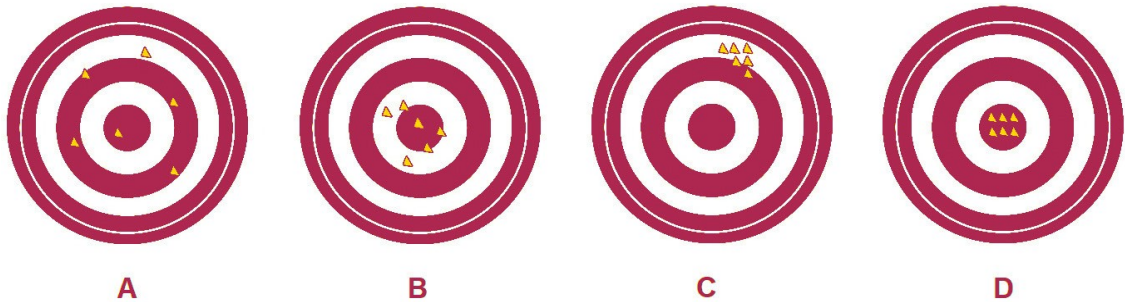


Figura 12: Representación gráfica de la exactitud definida como la combinación de veracidad y precisión. Figura extraída de (51) y modificada por el autor.

A- Resultado poco auténtico o veraz y poco repetible o preciso = Impresión 3D poco exacta.

B- Resultado más real pero poco repetible.

C- Resultado poco real pero repetible.

D- Resultado veraz y preciso = Impresión 3D más exacta.

6. DISCUSIÓN

La mayoría de las investigaciones realizadas sobre los IOSs se focalizan en los factores intrínsecos que afectan la exactitud de los mismos, sin embargo existen varios factores externos que pueden impactar en la exactitud al momento de escanear y que generalmente no se consideran ya que la mayoría de los estudios se realizan *in vitro*, lo que hace que el entorno sea más favorable en comparación con las condiciones de la cavidad bucal. No obstante, la literatura científica ha identificado múltiples factores que pueden influir en la exactitud global de una impresión digital. (54,55)

Las diversas tecnologías que emplea el hardware de los IOSs para la adquisición de imágenes podrían influir en la exactitud del modelo 3D. Un estudio de escaneos digitales de arco completo, *in vivo*, que utilizó varios IOSs diferentes mostró

desviaciones según los sistemas de escaneo utilizados. (56) Renne *et. al.*, (57) evaluaron 7 dispositivos diferentes y encontraron que el más exacto es el que se basa en el principio de microscopía confocal. Esto se corresponde con los resultados de otro estudio reciente que compara un escáner fundado en microscopía confocal con uno que utiliza triangulación óptica activa, aunque ambos sistemas proporcionaron resultados clínicamente aceptables. (58) En cambio, Oh *et. al.*, (52) no encontró diferencias significativas al comparar escáneres que utilizan estas dos tecnologías. La exactitud de los IOSs es un tema controvertido, ya que los sistemas de escaneo son herramientas abiertas al desarrollo y mejoran continuamente.

Los IOSs no pueden capturar el arco dental completo con un sólo movimiento, deben tomar múltiples imágenes pequeñas del arco y unir las en áreas superpuestas para obtener las estructuras orales. Este método por el cual se fusionan múltiples imágenes para producir una imagen panorámica, mediante un algoritmo de software, se conoce como *stitching*. (59) Para obtener los mejores resultados con sus dispositivos los fabricantes de IOSs recomiendan protocolos de escaneo específicos. Esto implica que el escáner debe desplazarse dentro de la cavidad bucal siguiendo un patrón determinado, generalmente comenzando con la digitalización de las superficies oclusales de los dientes posteriores, ya que son sectores con muchas áreas de referencia para la adquisición. (60) Muchos escáneres actuales incorporan en su software funciones de escaneo guiadas que instruyen al usuario durante el proceso de escaneo.

Varios estudios sugieren que la veracidad y la precisión de una impresión digital se ve afectada por la secuencia de escaneo, (52,61–63) principalmente en arcadas completas. Estas alteraciones pueden ocurrir en las regiones donde comienza y termina el escaneo debido a errores acumulados en el proceso de *stitching*. (64) El ajuste de las imágenes individuales debe ser perfecto para garantizar impresiones digitales de alta exactitud. Mennito *et. al.*, (65) encontraron que la estrategia de escaneo no afecta significativamente la exactitud del modelo digital al evaluar adquisiciones de sextantes con 6 IOSs diferentes. Otros autores han informado que las estrategias de escaneo pueden afectar la exactitud de algunos escáneres, pero no de otros. (26,63) Este tema aún no está claro y requiere más estudio.

En 2022 la firma Condor Technologies NV presenta el sistema Arch 1 - Tray Scanner. (23) Un IOS basado en estereofotogrametría que no requiere de una secuencia de escaneo ya que el dispositivo se configura como una cubeta total, otra

parcial y un instrumento para tomar los registros intermaxilares. Aún no se encuentra bibliografía disponible que avale esta tecnología.

Además de la secuencia, la extensión del escaneo también influye en la exactitud. Se ha informado que las impresiones digitales que involucran un sólo cuadrante tiene menor riesgo de error, pero la exactitud puede verse afectada a medida que aumenta el área de escaneo. (66,67) Kaewbuasa *et. al.*, (68) encontraron que los diferentes anchos de los arcos dentales pueden afectar la exactitud de algunos IOSs, principalmente en el sector molar. Según éstos, los diferentes resultados podrían estar vinculados con el posprocesamiento de las imágenes utilizado por el software del IOS. Otro estudio también refiere que los métodos de posprocesamiento de la impresión digital influyen en la exactitud. (59)

Se ha informado que la versión del software del dispositivo de escaneo afecta la exactitud. (69) Esto se evidencia al comparar resultados con los mismos componentes de hardware pero con diferentes versiones de software de adquisición. Versiones más nuevas con algoritmos de alineación de imágenes revisados generan modelos 3D más exactos, por esto los fabricantes realizan inversiones significativas en investigación y desarrollo. (55,70) Es de esperar que una actualización de software mejore la forma en que se gestionan los datos adquiridos, perfeccionando la exactitud global del escáner.

Al obtener escaneos intraorales, especialmente en manos de clínicos sin experiencia, pueden quedar pequeñas áreas sin escanear que representarán agujeros en la malla del escaneo inicial. Posteriormente, el operador deberá re-escanear esos agujeros de malla para completar la malla en esos sectores. Para esto el software usa los datos obtenidos con el nuevo escaneo y los bordes de los agujeros como guía para los métodos de *stitching*. Por otro lado, los protocolos de flujo de trabajo digital específicos para la fabricación de restauraciones sobre dientes e implantes requieren la creación de un orificio de malla en el escaneo digital previo a la preparación. A continuación el área se vuelve a escanear para capturar la preparación dental o la geometría del *scan body* de un implante, con el objetivo de generar una malla más densa en esos sectores. Son escasos los estudios que miden el impacto de re-escanear los agujeros de la malla y los procedimientos de *stitching* en la exactitud de un IOS. Dos estudios recientes (54,71) reportan que re-escanear los agujeros de malla así como el número y el tamaño de los agujeros afecta la exactitud del escáner confocal probado. Otro estudio *in vitro* anterior analizó la influencia de "cortar y volver a escanear" en la

exactitud de 3 IOSs diferentes. Concluyen que este procedimiento no influyó en la exactitud del escaneo en ninguno de los 3 IOSs probados, (72) pero las condiciones de escaneo, el área re-escaneada y los métodos de medición utilizados fueron diferentes en estos estudios. Si bien falta más investigación, parecería ser importante que al escanear la superficie intraoral, el operador logre digitalizar la superficie sin dejar agujeros en la malla, maximizando así la exactitud del modelo 3D.

Los archivos obtenidos por adquisiciones de IOSs en flujos de trabajo digitales se transfieren a programas de software CAD para crear un diseño digital 3D de la restauración, dispositivo o modelo del paciente. Algunos escáneres tienen sistemas abiertos que exportan datos de salida en formato .STL/.OBJ/.PLY a software CAD también abiertos, como por ejemplo Exocad; mientras que otros tienen sistemas cerrados que exportan datos en formatos propios. Los escáneres con sistema abierto pueden ser leídos por todos los programas de diseño, mientras que los sistemas cerrados transfieren datos directamente al software correspondiente del sistema asociado, lo que permite el diseño digital. Si los datos se obtienen de un IOSs con un sistema cerrado, se debe realizar previamente la conversión del formato de archivo. Si bien en la actualidad todos los IOSs están abiertos y permiten exportar al menos archivos .STL, una investigación (55) determinó que utilizar un IOS con su programa CAD asociado arroja resultados más exactos, dado que existe pérdida de datos cuando los archivos se convirtieron del formato propio al formato abierto.

Considerando que los IOSs son dispositivos ópticos que emiten luz para la adquisición de imágenes, es de esperar que las condiciones lumínicas en la que se obtienen los escaneos puedan influir en los mismos. Estudios concluyen que las condiciones de luz ambiental del consultorio pueden afectar la exactitud de las impresiones digitales independientemente de la tecnología de adquisición empleada. (29,73) Arakida *et. al.*, (74) encontraron que la iluminancia y la temperatura del color afectaron la veracidad y precisión de los IOSs. Determinaron que una temperatura de 3900 K y 500 lux es la condición de luz más apropiada para tomar una impresión digital. Otro estudio reciente pretendió cuantificar el impacto de diferentes condiciones de iluminancia sobre la exactitud de un escáner basado en microscopía confocal y encontró que una iluminación ambiental de 1000 lux es ideal para maximizar la exactitud del dispositivo estudiado, por lo que es recomendable evitar la luz directa del foco del sillón dental. (75)

Las características de las superficies intraorales que se van a digitalizar también impactan significativamente en la exactitud de la impresión digital. (62) Las propiedades físicas del sustrato a escanear, tales como el índice de reflectividad, índice de refracción y translucidez, juegan un papel importante en cómo la luz viaja desde la superficie del objeto hasta el sensor del IOS. Bocklet *et. al.*, (76) estudiaron la veracidad y la precisión de 7 diferentes IOSs sobre 4 sustratos (amalgama, resina compuesta, dentina y esmalte) concluyendo que el sustrato sí afecta la exactitud de la imagen sin importar el escáner que se haya utilizado. Siendo la dentina el sustrato que es más exacto al momento de ser captado y esmalte el menos exacto. Estos resultados son apoyados por otro estudio (77) reciente, donde se utilizaron mayor variedad de materiales dentales (oro pulido, núcleo azul y blanco, amalgama pulida y sin pulir, resina Bulk Fill, resina compuesta esmalte A2 y A3, resina compuesta dentina A2 y A3, disilicato de litio MT A2, zirconia y esmalte natural) y se evaluaron 8 escáneres modernos; encontraron que los materiales más translucidos pueden afectar la veracidad y precisión y aquellos materiales reflectivos no tienen efectos negativos en la captura de imagen. Además concluyen que los escáneres de triangulación activa son más sensibles al sustrato que aquellos de tecnología confocal.

Diversas investigaciones sobre la exactitud de los IOSs han mencionado que la saliva, la sangre, el fluido crevicular y la humedad relativa de la boca pueden afectar la exactitud de los resultados del escaneo. (67,70,74) Un estudio *in vitro* actual (78) examinó el efecto de saliva artificial, adherida a la superficie de los dientes, sobre la exactitud de dos IOSs con tecnologías de adquisición diferentes. El resultado fue una disminución de la exactitud. Si bien faltan estudios *in vivo*, es una buena práctica secar los dientes con la jeringa triple antes de proceder a escanear.

La información sobre los efectos del diseño de la preparación dental en la adquisición de impresiones digitales es escasa. Un estudio (79) evaluó el desempeño *in vitro* de 6 IOSs comparando su exactitud en la obtención de un escaneo de un modelo con diferentes tipos de cavidades diseñadas para incrustaciones. No sólo hubo diferencias significativas en los valores de exactitud de los 6 IOSs, sino que los escaneos de cavidades más complejas mostraron una mayor desviación. Respecto a la determinación del borde cavo de la preparación, los archivos a color, como .OBJ o .PLY, podrían mejorar la detección del borde

cavo. Esto se debe a la visibilidad de contraste entre el diente y el tejido blando, en comparación con los archivos monocromáticos como el .STL. (19)

Además de las impresiones digitales, los IOSs permiten obtener registros estáticos de las relaciones de intercuspidación con exactitud. Estudios *in vivo* e *in vitro* mostraron que los métodos para registrar la intercuspidación habitual de ambas arcadas dentarias, mediante el escaneo vestibular, pueden realizarse de manera más fácil, ser confiables y menos susceptibles a errores, en comparación con los métodos de registro convencionales. (80,81)

Desde un punto de vista técnico los IOSs son instrumentos ópticos, sensibles y de alta precisión, por tanto son propensos a la descalibración, lo que podría llevar a una pérdida de exactitud. (8,82) Para poder calibrarlos periódicamente en la clínica los fabricantes incluyen herramientas de calibración. Sin embargo, muchos fabricantes de escáneres de bajo costo afirman que no se requiere calibración siempre que el escáner no se dañe o se caiga. La ausencia de calibración es un concepto que se vio por primera vez en los escáneres de Carestream Dental. Se relaciona con el hecho de que los componentes ópticos del escáner están fijos en su lugar y nunca se mueven durante la operación. Esto se está convirtiendo en una tendencia del mercado.

Varios estudios reportan que, para obtener modelos digitales exitosos, el operador debe contar con la experiencia y pericia suficiente. (18,28,57) Waldecker *et. al.*, (83) vieron que el entrenamiento del operador afecta el tiempo requerido para escanear una arcada completa y que para que los odontólogos sean eficientes en el tiempo de escaneo, deben realizar una capacitación que comprenda al menos 12 escaneos de arcada completa. También encontraron que la exactitud de un modelo digital de arco completo mejora con el entrenamiento específico (escaneo repetido de la misma situación). (84)

7. CONCLUSIONES

No existe ningún escáner o tecnología que actualmente pueda considerarse unánimemente más exacta debido a la falta de procedimientos estandarizados o estudios *in vivo* comparables.

La tecnología que incorpora el hardware no es totalmente determinante en el resultado final de una impresión digital, es más relevante la versión de software. Cuanto más actual es la versión de software de escaneo, mejor funcionamiento tendrá el hardware, lo que prolongará su vida útil.

El patrón que diferencia a los IOSs ya no es la velocidad sino las características e inteligencia artificial del software de escaneo.

Para obtener una impresión digital exacta, la estrategia de escaneo es determinante, pero no existe una estrategia universal para todos los IOSs. Es recomendable aplicar la secuencia de escaneo sugerida por el fabricante del IOS.

Las impresiones digitales se vuelven menos exactas a medida que aumenta la extensión del área de escaneo, ya que se acumulan errores de registro. Además la conversión de archivos propios a formatos abiertos trae aparejado la pérdida de información, lo que podría repercutir en la exactitud global del escáner.

La luz directa del foco del sillón dental y la presencia de saliva y líquidos sobre las piezas dentales pueden afectar la exactitud del IOSs; es recomendable escanear sin iluminación directa del foco y secar previamente con aire. Además la experiencia del odontólogo en la adquisición de impresiones digitales es un factor clave en el éxito de la misma.

Existe una clara tendencia del mercado odontológico actual a la apertura de las tecnologías ya que de los 32 IOSs identificados, la gran mayoría son de clase C y sólo 2 son de Clase A y 2 de Clase B.

Para seleccionar un IOS que satisfaga las necesidades clínicas es necesario pensar en integración CAD/CAM y plantearse la pregunta ¿qué quiero hacer con el IOS? Solamente tomar impresiones digitales y enviar al laboratorio; escanear, diseñar y enviar al laboratorio o ejecutar todas las etapas del flujo digital: escanear, diseñar y fresar o imprimir.

8. ANEXO

1) Caso clínico resuelto mediante un flujo de trabajo digital indirecto:

Restauración con prótesis dental fija que repone la pieza 36.

(A) Situación clínica inicial: Pieza 35 con amalgama filtrada en disto-gingival, ausencia de 36 y extensa caries oclusal en 37.

Luego de finalizar las preparaciones dentarias y provisorios en 35 y 37 se seleccionó una cubeta de stock y se tomó una impresión analógica del maxilar inferior con silicona por adición pesada y liviana, en un solo tiempo (B). También se adquirió una impresión de las piezas antagonistas y registros de oclusión.

Se envió al laboratorio dental y a partir de dichas impresiones se elaboraron modelos de yeso. Éstos se digitalizaron con un escáner óptico de mesa Amann Girsch, Ceramill Map 400 (C) para obtener modelos digitales 3D.

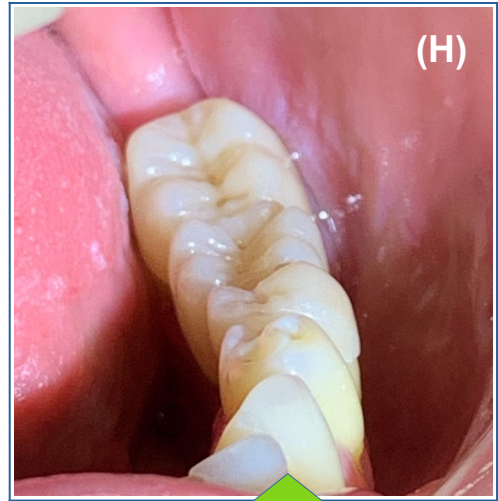
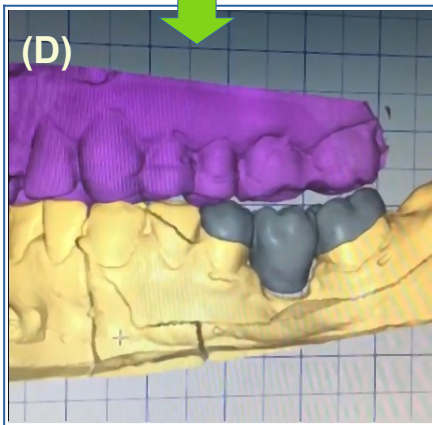
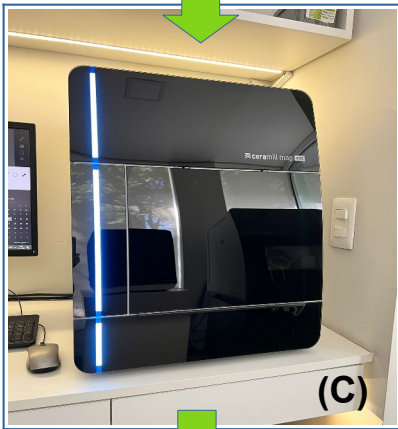
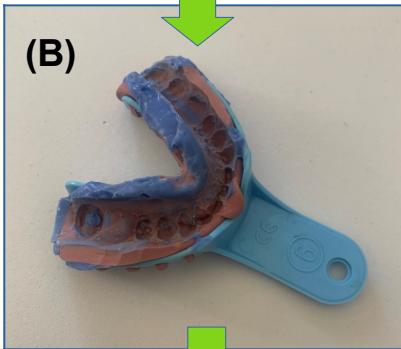
Con los archivos 3D obtenidos se diseñó la restauración (D) en un software de diseño (Amann Girsch, Ceramill Mind).

El archivo de diseño generado se trasladó a una unidad de fresado (E) para elaborar un patrón de cera (F) que se probó en boca.

Luego, por método sustractivo, se fabricó en óxido de circonio (Amann Girsch, Zolid fx Multilayer) la restauración definitiva (G).

Después de la sinterización y caracterización de la misma se instaló en boca (H).

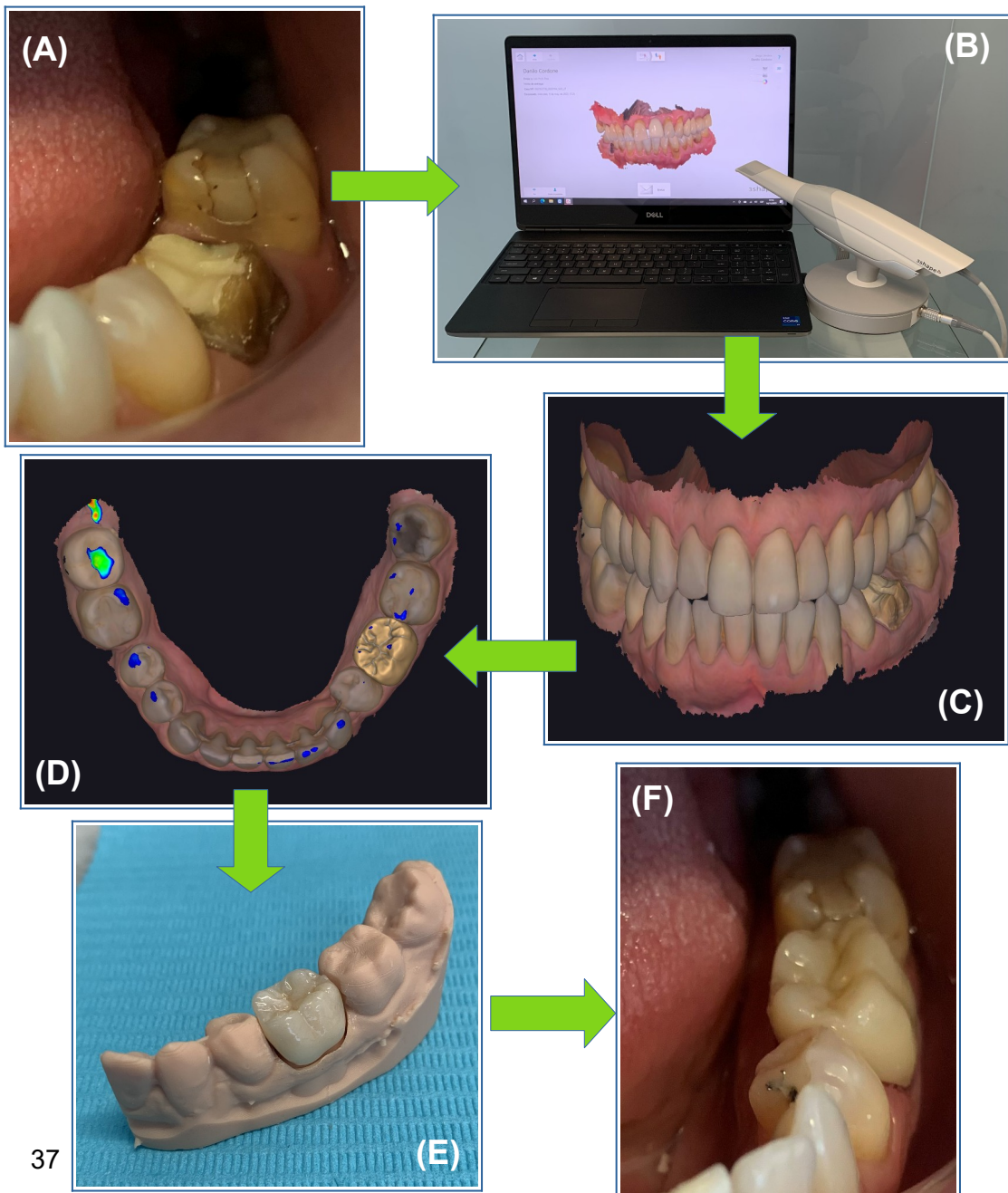
Este caso fue realizado por el autor durante el transcurso de la Especialidad en Odontología Restauradora Integral (2019)



2) Caso clínico realizado mediante un flujo de trabajo digital directo:
Restauración de la pieza 36 mediante una corona total.

Luego de realizar la preparación dentaria (A) y el provisorio se procedió a la toma de impresiones y registros digitales (B) con un escáner intraoral 3Shape Trios 3 (C). Los archivos obtenidos en formato .PLY se enviaron al laboratorio vía e-mail para diseñar la restauración (D) en un software CAD (Exocad). Se fresó en óxido de circonio y después de sinterizar y caracterizar la restauración se envió al consultorio posicionada en un troquel de resina (E) elaborado con impresora 3D, para su cementado (F).

Caso resuelto por el autor en la consulta privada.



9. BIBLIOGRAFÍA

1. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkynen A. Recent advances in dental optics - Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Opt Lasers Eng.* 2014;54:203–21.
2. Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. *BMC Oral Health.* 2020 Dec 1;20(1).
3. Amelie Schlenz M, Vogler J, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B. New intraoral scanner-based chairside measurement method to investigate the internal fit of crowns: A clinical trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(7):10–2.
4. Blatz MB, Conejo J. The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dent Clin North Am.* 2019;63(2):175–97.
5. Al-Hassiny. Reseñas de escáner intraoral de IDS 2021 + Descripción general del mercado [Internet]. [cited 2022 Oct 7]. Available from: <https://instituteofdigitaldentistry.com/ios-reviews/intraoral-scanner-reviews-from-ids-2021-ios-market-update/>
6. Duret F, Blouin JL, Duret B. CAD-CAM in dentistry. *J Am Dent Assoc.* 1988;117(6):715–20.
7. Logozzo S, Franceschini G, Kilpelä A, Caponi M, Governi L, Blois L. A Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. *Internet J Med Technol.* 2012;5(1):1–18.
8. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng.* 2017;1–9.
9. Zimmerman M, Mehl A, Mörmann WH, Reich S. Intraoral scanning systems – a current overview. *Int J Comput Dent.* 2015;18(2):101–29.
10. Park HS, Shah C. Development of high speed and high accuracy 3D dental intra oral scanner. *Procedia Eng.* 2015;100:1174–81.
11. Intraoral Dental Scanners | Dentsply Sirona [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.dentsplysirona.com/content/dentsply-sirona-dt/master/en/discover/discover-by-category/intraoral-scanners.html>
12. The Easy Entry into Digital Dentistry | Medit [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.medit.com/>

13. Shin SH, Yu HS, Cha JY, Kwon JS, Hwang CJ. Scanning accuracy of bracket features and slot base angle in different bracket materials by four intraoral scanners: An in vitro study. *Materials (Basel)*. 2021;14(2):1–14.
14. Align Technology [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: https://www.aligntech.com/solutions/itero_scanner
15. 3Shape TRIOS Intraoral scanners – Compare all models [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.3shape.com/en/scanners/trios>
16. Escáner dental: impresiones dentales digitales, escáner intraoral | 3M-US [Internet]. [cited 2022 Oct 10]. Available from: https://www.3m.com/3M/en_US/dental-us/expertise/digital-dental-impressions/
17. Güth JF, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clin Oral Investig*. 2017;21(5):1445–55.
18. Kim RJY, Park JM, Shim JS. Accuracy of 9 intraoral scanners for complete-arch image acquisition: A qualitative and quantitative evaluation. *J Prosthet Dent*. 2018;120(6):895–903.
19. Nedelcu R, Olsson P, Nyström I, Thor A. Finish line distinctness and accuracy in 7 intraoral scanners versus conventional impression: An in vitro descriptive comparison. *BMC Oral Health*. 2018;18(1).
20. URAL C, KALELI N. Direct digitalization devices in today's dental practice: Intra oral scanners. *J Exp Clin Med*. 2021;38:136–42.
21. Virtuo Vivo™ Intraoral Scanner | Digital Solutions [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.straumann.com/digital/en/home/equipment/io-scanners/virtuo-vivo.html>
22. Al-Hassiny. Wow Intraoral Scanner Review [Internet]. [cited 2022 Nov 9]. Available from: <https://instituteofdigitaldentistry.com/cad-cam/wow-intraoral-scanner-review/>
23. Home [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.condorscan.com/>
24. WOW – Intra-Oral Scanner [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://wow-scan.com/en/>
25. A Unique Approach to Intraoral Scanning - CEREC Digest [Internet]. [cited 2022 Aug 6]. Available from: <https://www.cerecdigest.net/2017/06/30/unique-approach-intraoral-scanning/>
26. Medina-Sotomayor P, Pascual-Moscardó A, Camps I. Relationship between resolution and accuracy of four intraoral scanners in complete-arch impressions. *J Clin Exp Dent*. 2018;10(4):361–6.

27. Jokstad A. Computer-assisted technologies used in oral rehabilitation and the clinical documentation of alleged advantages – a systematic review. *J Oral Rehabil.* 2017;44(4):261–90.
28. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):1–11.
29. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, Takafuji K, Takahashi T, Yokota J, et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res.* 2020;64(2):109–13.
30. Chandran SK, Jaini J, Babu AS, Mathew A, Keepanasseril A. Digital Versus Conventional Impressions in Dentistry: A Systematic Review. *J Clin DIAGNOSTIC Res.* 2019;13(4):1–6.
31. Sakornwimon N, Leevailoj C. Clinical marginal fit of zirconia crowns and patients' preferences for impression techniques using intraoral digital scanner versus polyvinyl siloxane material. *J Prosthet Dent.* 2017;118(3):386–91.
32. Wong KY, Esguerra RJ, Chia VAP, Tan YH, Tan KBC. Three-Dimensional Accuracy of Digital Static Interocclusal Registration by Three Intraoral Scanner Systems. *J Prosthodont.* 2018 Feb 1;27(2):120–8.
33. Hsuan. Our Top Ten Intraoral Scanners of 2019 [Internet]. *CEREC Digest.* 2019 [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.cerecdigest.net/2019/06/03/our.top-ten.intraoral-scanners-of-2019/>
34. Mallat Callís E, Cadafalch Cabaní J, de Miguel Figuero J. Flujo digital en rehabilitación oral. In: *Las claves de la prótesis fija en cerámica.* N.º 1. Valencia: Lisermed; 2018. p. 429–34.
35. Intraoral scanners | Planmeca [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.planmeca.com/cadcam/dental-scanning/intraoral-scanners/>
36. Intraoral Scanners | DEXIS [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://dexis.com/en-us/intraoral-scanning>
37. 3DISC - 3D Intraoral Scanner Solutions | Taking Digital Beyond [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://3disc.com/>
38. Aoralscan 3 Intraoral Scanner SHINING 3D | Acquire Digital Impressions [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://shining3ddental.com/solution/aoralscan-3/>
39. Launca Medical | Dental 3D Intraoral Scanner & Digital Solution [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.launcadental.com/>
40. Runyes Medical Instrument Co.,Ltd [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <http://en.runyes.com/sp/productd.php?id=325>

41. Product - Alliedstar [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.allied-star.com/product>
42. FUSSEN [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.fussengroup.com/Imaging/99.html>
43. Helios 600 - Digital Impressions - Changzhou Sifary Medical Technology Co.,Ltd. [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.eighteeth.com/Digital-Impressions/71.html>
44. Digital 3D Dental Scanner | Panda Scanner [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.panda-scanner.com/>
45. DYNAMIC DDS300 Intra-oral Scanner | Dynair [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://dentalimagesolution.com/dds300>
46. Aidite [Internet]. [cited 2022 Oct 6]. Available from: https://www.aidite.com/detailPage/products/CAMEOELEGANT3_46.html
47. Treesh JC, Liacouras PC, Taft RM, Brooks DI, Raiciulescu S, Ellert DO, et al. Complete-arch accuracy of intraoral scanners. *J Prosthet Dent.* 2018;120(3):382–8.
48. Bernauer SA, Müller J, Zitzmann NU, Joda T. Influence of preparation design, marginal gingiva location, and tooth morphology on the accuracy of digital impressions for full-crown restorations: An in vitro investigation. *J Clin Med.* 2020;9(12):1–8.
49. Schmidt A, Klussmann L, Wöstmann B, Schlenz MA. Accuracy of digital and conventional full-arch impressions in patients: An update. *J Clin Med.* 2020 Mar 1;9(3).
50. Kuhr F, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B. A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *J Dent.* 2016;55:68–74.
51. Tapie L, Lebon N, Mawussi B, Fron-Chabouis H, Duret F, Attal J-P. Understanding dental CAD/CAM for restorations--accuracy from a mechanical engineering viewpoint. *Int J Comput Dent.* 2015;18(4):343–67.
52. Oh KC, Park JM, Moon HS. Effects of Scanning Strategy and Scanner Type on the Accuracy of Intraoral Scans: A New Approach for Assessing the Accuracy of Scanned Data. *J Prosthodont.* 2020;29(6):518–23.
53. Mangano FG, Admakin O, Bonacina M, Lerner H, Rutkunas V, Mangano C. Trueness of 12 intraoral scanners in the full-arch implant impression: A comparative in vitro study. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):1–21.
54. Revilla-León M, Quesada-Olmo N, Gómez-Polo M, Sicilia E, Farjas-Abadia M, Kois JC. Influence of rescanning mesh holes on the accuracy of an intraoral scanner: An in vivo study. *J Dent.* 2021;115.

55. Erozan Ç, Ozan O. Evaluation of the precision of different intraoral scanner-computer aided design (CAD) software combinations in digital dentistry. *Med Sci Monit.* 2020;26:1–8.
56. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent.* 2016;115(3):313–20.
57. Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent.* 2017;118(1):36–42.
58. Waldecker M, Rues S, Rammelsberg P, Bömicke W. Accuracy of complete-arch intraoral scans based on confocal microscopy versus optical triangulation: A comparative in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2021;126(3):414–20.
59. Nagy Z, Simon B, Mennito A, Evans Z, Renne W, Vág J. Comparing the trueness of seven intraoral scanners and a physical impression on dentate human maxilla by a novel method. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):1–10.
60. Diker B, Tak Ö. Comparing the accuracy of six intraoral scanners on prepared teeth and effect of scanning sequence. *J Adv Prosthodont.* 2020;12(5):299–306.
61. Diker B, Tak Ö. Accuracy of Digital Impressions Obtained Using Six Intraoral Scanners in Partially Edentulous Dentitions and the Effect of Scanning Sequence. *Int J Prosthodont.* 2021;34(1):101–8.
62. 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(4):307–19.
63. Latham J, Ludlow M, Mennito A, Kelly A, Evans Z, Renne W. Effect of scan pattern on complete-arch scans with 4 digital scanners. *J Prosthet Dent.* 2020;123(1):85–95.
64. Zimmermann M, Koller C, Rumetsch M, Ender A, Mehl A. Precision of guided scanning procedures for full-arch digital impressions in vivo. *J Orofac Orthop.* 2017;78(6):466–71.
65. Mennito AS, Evans ZP, Lauer AW, Patel RB, Ludlow ME, Renne WG. Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems. *J Esthet Restor Dent.* 2018 Mar 1;30(2):113–8.
66. Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int (Berl).* 2015;46(1):9–17.

67. Moon YG, Lee KM. Comparison of the accuracy of intraoral scans between complete-arch scan and quadrant scan. *Prog Orthod.* 2020;21(1):4–9.
68. Kaewbuasa N, Ongthiemsak C. Effect of different arch widths on the accuracy of three intraoral scanners. *J Adv Prosthodont.* 2021;13(4):205–15.
69. Haddadi Y, Bahrami G, Isidor F. Effect of Software Version on the Accuracy of an Intraoral Scanning Device. *Int J Prosthodont.* 2018 Jul;31:375–6.
70. Ender A, Zimmermann M, Mehl A. Accuracy of complete-and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int J Comput Dent.* 2019;22(1):11–9.
71. Gómez-Polo M, Piedra-Cascón W, Methani MM, Quesada-Olmo N, Farjas-Abadia M, Revilla-León M. Influence of rescanning mesh holes and stitching procedures on the complete-arch scanning accuracy of an intraoral scanner: An in vitro study. *J Dent.* 2021;110.
72. Reich S, Yatmaz B, Raith S. Do “cut out-rescan” procedures have an impact on the accuracy of intraoral digital scans? *J Prosthet Dent.* 2021;125(1):89–94.
73. Revilla-León M, Jiang P, Sadeghpour M, Piedra-Cascón W, Zandinejad A, Özcan M, et al. Intraoral digital scans—Part 1: Influence of ambient scanning light conditions on the accuracy (trueness and precision) of different intraoral scanners. *J Prosthet Dent.* 2020;124(3):372–8.
74. Arakida T, Kanazawa M, Iwaki M, Suzuki T, Minakuchi S. Evaluating the influence of ambient light on scanning trueness, precision, and time of intraoral scanner. *J Prosthodont Res.* 2018;62(3):324–9.
75. Revilla-León M, Subramanian SG, Att W, Krishnamurthy VR. Analysis of Different Illuminance of the Room Lighting Condition on the Accuracy (Trueness and Precision) of An Intraoral Scanner. *J Prosthodont.* 2021;30(2):157–62.
76. Bocklet C, Renne W, Mennito A, Bacro T, Latham J, Evans Z, et al. Effect of scan substrates on accuracy of 7 intraoral digital impression systems using human maxilla model. *Orthod Craniofac Res.* 2019;22(1):168–74.
77. Dutton E, Ludlow M, Mennito A, Kelly A, Evans Z, Culp A, et al. The effect different substrates have on the trueness and precision of eight different intraoral scanners. *J Esthet Restor Dent.* 2020 Mar 1;32(2):204–18.
78. Chen Y, Zhai Z, Li H, Yamada S, Matsuoka T, Ono S, et al. Influence of Liquid on the Tooth Surface on the Accuracy of Intraoral Scanners: An In Vitro Study. *J Prosthodont.* 2022;31(1):59–64.
79. Park JM, Kim RJY, Lee KW. Comparative reproducibility analysis of 6 intraoral scanners used on complex intracoronal preparations. *J Prosthet Dent.* 2020;123(1):113–20.

80. Fraile C, Ferreira A, Romeo Rubio M, Alonso R, Pradies Ramiro G. Clinical study comparing the accuracy of interocclusal records, digitally obtained by three different devices. *Clin Oral Investig.* 2022;26(6):4663–8.
81. Zimmermann M, Ender A, Attin T, Mehl A. Accuracy of buccal scan procedures for the registration of habitual intercuspation. *Oper Dent.* 2018 Nov 1;43(6):573–80.
82. Rehmann P, Sichwardt V, Wöstmann B. Intraoral Scanning Systems: Need for Maintenance. *Int J Prosthodont.* 2017 Jan;27–9.
83. Waldecker M, Trebing C, Rues S, Behnisch R, Rammelsberg P, Bömicke W. Effects of Training on the Execution of Complete-Arch Scans. Part 1: Scanning Time. *Int J Prosthodont.* 2021;34(1):21–6.
84. Waldecker M, Rues S, Trebing C, Behnisch R, Rammelsberg P, Bömicke W. Effects of Training on the Execution of Complete-Arch Scans. Part 2: Scanning Accuracy. *Int J Prosthodont.* 2021;34(1):27–36.