

REPÚBLICA DOMINICANA
UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA DE ODONTOLOGÍA



"Comparación de la precisión de las técnicas de impresión digital y convencional para prótesis fija sobre dientes naturales"

TRABAJO FINAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE DOCTOR EN ODONTOLOGÍA

Sustentantes

Karla Massiel Rivas Perez 22-1041

Sarah Esther Cruz Peralta 22-0782

Docente Especializado

Dra. Laura Nadal

Los conceptos expuestos en la presente investigación son de la exclusiva responsabilidad de los autores.

Docente Titular

Dra. Helen Josefina Rivera Estaba

Santo Domingo, DN.
Julio 2025

Resumen

El presente trabajo investigativo tuvo como objetivo comparar la precisión de las técnicas de impresión digital y convencional para prótesis fija sobre dientes naturales. Los estudios indican que las características actuales de la impresión digital se deben a su alta precisión dimensional, reducción del tiempo clínico, mayor comodidad para el paciente, eliminación de distorsiones por materiales de impresión y capacidad de almacenamiento digital permanente. En los últimos cinco años, los avances en tecnología de escaneo intraoral han sido significativos, mejorando la captura de detalles, velocidad de procesamiento e integración con sistemas CAD/CAM. Sin embargo, la técnica convencional mantiene ventajas en preparaciones subgingivales profundas y situaciones donde la humedad compromete el escaneo. Por tanto, es necesario que los profesionales conozcan las indicaciones y limitaciones de ambas técnicas para seleccionar la más adecuada y lograr resultados protésicos predecibles.

Palabras clave: Impresión digital intraoral, técnicas convencionales elastoméricas, precisión marginal protésica, ajuste interno restaurador y digitalización protodóntica.

Abstract

The end of this research was to compare the accuracy of digital and conventional impression techniques for fixed prosthetics on natural teeth. Studies indicate that the current advantages of digital impressions are due to their high dimensional accuracy, reduced clinical time, greater patient comfort, elimination of distortions caused by impression materials, and permanent digital storage capacity. In the last five years, significant advances in intraoral scanning technology have improved detail capture, processing speed, and integration with CAD/CAM systems. However, the conventional technique maintains advantages in deep subgingival preparations and situations where moisture compromises scanning. Therefore, it is essential for professionals to understand the indications and limitations of both techniques in order to select the most appropriate one and achieve predictable prosthetic results.

Keywords: Intraoral digital impression, conventional elastomeric techniques, prosthetic marginal precision, restorative internal fit, and prosthodontic digitalization.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi Dios, a Él sea la gloria y honor. Gracias a Dios por ser mi guía constante, por darme fuerzas, por ayudarme a construir mi fe, hacerme tolerante y darme la perseverancia necesaria en cada etapa que tuve en este camino. En mis mejores y peores momentos, siempre ha sido mi refugio, mi consuelo y mi guía. Que cada paso en mi vida personal y profesional sea acompañado de presencia bendita y que por medio de mi trabajo se manifieste su gloria.

A mi familia, con todo mi corazón, le doy gracias. En especial a mi madre Raquel Pérez, por su amor incondicional, por sus sacrificios, por ser mi roca, por darme consuelo cuando lo he necesitado, por creer en mí, y por inspirarme dándome el mejor ejemplo. Agradezco con el mayor amor posible a mis hermanas Carolyn Rivas y Luz Stefany Rivas, por su amor inconmesurable, por su apoyo, por ser mi felicidad y alegría, por todos los sacrificios que han hecho y por siempre cuidar de su hermanita menor, son las mejores compañeras de vida que pude haber tenido. Este logro también es suyo.

Agradezco profundamente a mi novio Roberto Rojas, por acompañarme en cada paso, por su apoyo incondicional y por siempre estar a mi lado dándome fuerzas desde el día uno. Gracias por tu amor constante, por motivarme cada día y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Tu presencia ha sido esencial para alcanzar este logro.

Doy gracias a mi asesora de tesis, la Dra. Laura Nadal y a mi docente titular Dra. Helen Rivera, por aceptar acompañarnos en este desafío. Su orientación, dedicación, paciencia y constante apoyo han sido fundamentales a lo largo de este proceso.

Finalmente, quiero agradecer de manera especial a mi compañera de tesis Sarah Cruz. Gracias por ser mi compañera, por tu entrega y dedicación en este proceso. Te agradezco

grandemente tu amistad, tiempo, afecto. Tu compromiso, tu paciencia y tu corazón hicieron de esta experiencia algo mucho más valioso.

-Karla Massiel Rivas Perez.

Agradecimientos

Primero y por encima de todo, agradezco a Dios, por haber sido mi guía, mi fuerza y mi refugio en cada paso de este camino. Le doy gracias por enseñarme a ser disciplinada, constante y dedicada, y por darme fuerzas incluso cuando creía no tenerlas. Me ayudó a comprender que todo tiene su hora y que su tiempo es perfecto. Sin Él, nada de esto habría sido posible.

A mi madre, Inés Peralta, por su amor incondicional, por estar siempre presente sin importar las circunstancias, y por ser mi mayor fuente de fortaleza. Su capacidad de entregarse por completo, incluso con múltiples responsabilidades, es algo que siempre admiraré. Gracias por tus consejos, tus desvelos, tu fe en mí y por no soltarme nunca de la mano, incluso en los días más duros.

A mi padre, Ángel Cruz, por tener siempre la disposición y la intención de ayudarme en lo que estuviera a su alcance, demostrando su apoyo en este proceso tan importante para mí.

A mi hermana mayor, María Inés, por estar siempre a mi lado, brindándome su ayuda, compañía, fortaleza y palabras de ánimo cuando más las necesitaba. Junto a mi madre, ha sido mi roca en este trayecto tan exigente, y su presencia fue fundamental en los momentos más retadores.

A mi hermana Sonia Carolina, por acompañarme a la distancia, haciéndome sentir su presencia, su cariño y su respaldo en todo momento, recordándome siempre que está ahí para mí.

A mi hermana María Altagracia, por sus frases motivacionales, su energía positiva y por compartir conmigo lecturas de superación personal que me inspiraron en los momentos más desafiantes.

A mi cuñado Gabriel Santana, por su disposición incondicional, por salir corriendo cada vez que necesitaba ayuda y resolver con prontitud cualquier situación, demostrando su apoyo y cariño en cada gesto.

A mis amigos y/o compañeros —quienes saben quiénes son—, gracias por su paciencia, por escucharme una y otra vez hablar sobre la tesis, y por aguantar mis momentos de estrés. Su presencia y comprensión hicieron más llevadero este proceso.

A mi compañera de tesis, Karla Rivas, gracias por tu compromiso, tu serenidad en momentos de tensión y por ser una compañera leal y dedicada. Le agradezco a Dios por habernos unido en este trabajo y por permitir que, a lo largo del proceso, también naciera una amistad.

Extiendo también mi sincero agradecimiento a nuestra asesora, la Dra. Laura Nadal, por su acompañamiento y orientación durante este proceso, así como a nuestra docente titular, la Dra. Helen Rivera, por su compromiso y apoyo académico.

A todos ustedes, gracias por ser parte fundamental de esta etapa tan significativa de mi vida.

-Sarah Esther Cruz Peralta.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado con todo mi amor y gratitud a Dios y todas las personas que han sido mi base, mi impulso y mi mayor inspiración.

Dedico este trabajo de manera especial a mi abuela, Lucía Sierra, por su amor infinito, sus oraciones constantes y su apoyo silencioso pero profundo. Su presencia en mi vida ha sido un pilar de fuerza, ternura y sabiduría que llevo siempre en el corazón.

Gracias a todos los que hicieron esto posible, por ser la razón por la cual nunca dejé de avanzar. Este logro también les pertenece.

-Karla Massiel Rivas Perez.

Dedico este trabajo a Dios, quien fue mi refugio en los momentos de mayor incertidumbre, mi guía en cada paso del camino y la fuente de la fortaleza que me sostuvo en medio del cansancio, el estrés y las dudas. A Él le agradezco por haberme mantenido firme, por renovar mi esperanza cuando me sentía debilitada, y por recordarme que con fe, esfuerzo y perseverancia, todo es posible. A mi madre, por ser mi pilar más firme, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por brindarme su amor y apoyo incondicional. A mi familia, por su respaldo constante y sus palabras de aliento en este trayecto tan importante.

-Sarah Esther Cruz Peralta.

Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Agradecimientos.....	4
Dedicatoria.....	8
1. Introducción.....	12
2. Planteamiento del problema.....	15
2.1 Preguntas de investigación.....	17
3. Objetivos.....	18
3.1 General.....	18
3.2 Específicos.....	18
4. Marco teórico.....	19
4.1 Antecedentes históricos.....	19
4.2 Marco conceptual.....	21
4.2.1 Prótesis fijas.....	21
4.2.2 Técnicas de impresión convencional.....	25
4.2.3 Técnicas de impresión digital.....	26
4.2.4 Precisión en impresiones digitales y convencionales.....	29
4.2.5 Estudios comparativos entre técnicas digitales y convencionales.....	32
4.2.6 Ajuste marginal y adaptación interna de prótesis fijas.....	35
4.2.7 Perspectivas futuras y tendencias.....	36
4.2.8 Revisión de literatura.....	37
4.2.8.1 Eficiencia de las técnicas de impresión digitales vs convencionales.....	37
5. Marco metodológico	40

5.1 Tipo de estudio.....	40
5.2 Estrategias de búsqueda de bibliografía	40
5.3 Criterios de búsqueda de bibliografía.....	40
6. Discusión	41
7. Conclusiones.....	48
8.Recomendaciones.....	49
9. Prospectiva.....	50
10. Referencias bibliográficas.....	51

Índice de figuras

Figura 1. Prótesis parcial fija dentosoportada para reponer dientes posterosuperiores ausentes	22
Figura 2. Cubetas de impresión prefabricadas con alginato.....	25
Figura 3. Sistema TRIOS (3Shape) de impresión digital.....	27
Figura 4. CAD/Cam en diseño de prótesis.....	29
Figura 5. Mapa conceptual sobre las ventajas de las técnicas de impresión digital.....	39

1. Introducción

La odontología moderna ha experimentado avances significativos en los últimos años, y uno de los más destacados ha sido la introducción de las técnicas de impresión digital, las cuales prometen mejorar la precisión y eficiencia en la elaboración de prótesis dentales. Las prótesis fijas sobre dientes naturales requieren un alto nivel de exactitud para asegurar su adecuado ajuste, funcionalidad y estética. Tradicionalmente, las impresiones convencionales, que utilizan materiales como alginato, silicona o yeso, han sido el estándar en la obtención de modelos de la cavidad oral. No obstante, las nuevas tecnologías, como las impresoras digitales y los escáneres intraorales, han revolucionado este proceso, ofreciendo la posibilidad de realizar impresiones sin la necesidad de materiales convencionales, con la ventaja de generar modelos tridimensionales en tiempo real.¹

Las impresiones dentales son procedimientos que sirven para replicar la cavidad oral de un paciente, con el objetivo de realizar trabajos de laboratorio como coronas, tanto sobre diente como implante, puentes, carillas, encerados, entre otros. Estas impresiones deben cumplir con ciertas características: estabilidad dimensional, facilidad en su toma y precisión en la reproducción de las estructuras. Existen impresiones dentales convencionales, que generan una réplica en negativo de las estructuras dentales mediante materiales como alginato, silicona o polieter, para luego crear una copia positiva con un vaciado en yeso. Este proceso permite obtener un modelo físico de las estructuras orales, pero para ser funcional, el modelo debe cumplir con ciertos requisitos, como la reproducción exacta de las estructuras intraorales (mucosas y dientes), estar libre de imperfecciones como burbujas o cortes, y no presentar distorsiones en las estructuras replicadas. Las impresiones digitales son aquellas que utilizan dispositivos para obtener un modelo tridimensional digital de la cavidad oral, el cual se guarda en un sistema o software que facilita el análisis y planificación de los tratamientos

para el paciente. Para que los modelos digitales sean precisos, es fundamental considerar características como la precisión en la reproducción en 3D, ya que esta tecnología reduce los errores marginales, evita distorsiones en las estructuras, acorta el tiempo de trabajo y permite diseñar más rápido las restauraciones definitivas, sobre las prótesis. Además, favorece el intercambio de datos entre diversas especialidades para obtener mejores resultados finales.²

Las impresiones digitales se dividen en extraorales e intraorales. La impresión digital extraoral, o indirecta, consiste en tomar una impresión convencional del paciente para obtener un modelo de yeso, que luego es digitalizado mediante un escáner de escritorio o extraoral. Una vez digitalizado, la imagen se personaliza según las necesidades del paciente, lo que permite crear una restauración precisa. La tecnología CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) representa uno de los avances más significativos en la odontología contemporánea, transformando fundamentalmente los flujos de trabajo restauradores. Este sistema integrado combina el diseño virtual tridimensional de restauraciones dentales con su fabricación automatizada mediante fresado o impresión 3D, ofreciendo precisión, eficiencia y reproducibilidad superiores a los métodos convencionales. Desde su introducción en la década de 1980 con el sistema CEREC, el CAD/CAM ha evolucionado exponencialmente, permitiendo actualmente la confección de una amplia gama de restauraciones, desde incrustaciones y coronas unitarias hasta rehabilitaciones completas sobre dientes naturales o implantes. La digitalización del proceso restaurador no sólo ha optimizado la calidad y ajuste de las restauraciones, sino que también ha reducido significativamente los tiempos clínicos, minimizado errores asociados a técnicas manuales y expandido el repertorio de materiales disponibles, posicionando esta tecnología como un componente esencial de la odontología digital moderna.^{1,3}

Por otro lado, las técnicas directas, o intraorales, permiten el escaneo y digitalización de

las estructuras directamente en la boca. Los escáneres intraorales han mejorado la odontología al hacer más precisos y cómodos los tratamientos. Permiten tomar impresiones digitales que sustituyen las de alginato o silicona, facilitando un ajuste perfecto en restauraciones como las prótesis fijas o removibles. En ortodoncia, proporcionan modelos digitales para planificar tratamientos más exactos, como alineadores dentales. Además, algunos modelos ayudan a detectar caries y otras patologías a tiempo. También permiten seguir el progreso de los tratamientos y ajustar según sea necesario. Finalmente, mejoran la comunicación con los pacientes al mostrar imágenes digitales claras de su situación dental, optimizando así los diagnósticos y tratamientos.⁴

2. Planteamiento del problema

La Odontología tradicional, vigente desde el siglo XIX, ha utilizado un proceso de impresión de las arcadas dentarias mediante materiales colocados en una cubeta, con el fin de obtener una réplica negativa de las mismas antes de la creación de un modelo maestro para diagnóstico y tratamiento.⁴ Sin embargo, este método, que implica tomar impresiones convencionales, suele ser incómodo para el paciente, manifestándose en reacciones como el reflejo nauseoso, dificultades respiratorias, ansiedad y prolongación del tiempo del tratamiento.⁵

Con el avance de la tecnología digital en las últimas décadas, se han mejorado tanto la calidad diagnóstica como la terapéutica, al tiempo que se optimizan la eficiencia de los procedimientos y la experiencia del paciente. El término "Odontología digital" se introdujo en la literatura científica en 1999, y desde entonces ha experimentado grandes avances, aplicándose en la elaboración de prótesis unitarias, parciales fijas, completas, maxilofaciales e implantología. El sistema CAD-CAM ha permitido la creación de restauraciones dentales e implantoportadas mediante un flujo de trabajo completamente digital. El proceso comienza con el escaneo digital de las arcadas o del modelo maestro, para luego proceder con el diseño y fabricación de las restauraciones en un centro de fresado, ya sea en un laboratorio protésico o en la clínica misma.⁶

El escaneado intraoral es un procedimiento relativamente sencillo, aunque se basa en un complejo mecanismo tecnológico. El escáner utiliza un haz láser o luz estructurada que, al entrar en contacto con el objeto, se deforma, lo que es detectado por cámaras ubicadas en la punta del dispositivo. A través de un software especializado, estos datos se procesan y se traducen en coordenadas en los tres ejes del espacio (x, y, z), generando nubes de puntos y mallas que permiten reconstruir el objeto escaneado, creando así un modelo maestro virtual.

Este proceso de digitalización de los registros intraorales elimina muchas de las complicaciones asociadas con las técnicas de impresión convencionales, como los cambios de temperatura, el tiempo entre la toma de impresión y el vaciado, o los procedimientos de desinfección, los cuales pueden provocar distorsiones en el material y afectar la precisión del modelo final. Sin embargo, el método de impresión convencional sigue siendo utilizado en las prótesis debido a su arraigo en la práctica clínica.⁷

El escaneo intraoral ofrece diversas ventajas, como la visualización en tiempo real, la reducción del tiempo de trabajo y la facilidad de reescanear áreas que se consideren deficientes. Además, presenta una clara ventaja logística, ya que los archivos digitales no ocupan espacio físico y pueden ser enviados directamente al laboratorio a través de la nube. Sin embargo, el método indirecto, que implica el escaneado sobre el modelo maestro, tiene la desventaja de no eliminar los inconvenientes de las impresiones analógicas. También, el yeso utilizado para crear los modelos puede experimentar cambios durante su fraguado, dado que el yeso tipo IV, el que es utilizado para modelos maestros, presenta una expansión lineal que varía entre el 0,06% y el 0,5%.⁸

En República Dominicana, la adopción de tecnologías avanzadas en odontología, como las impresiones digitales, es crucial para mejorar la calidad de los tratamientos, especialmente en prótesis fija sobre dientes naturales. La comparación entre las técnicas convencionales y digitales es relevante, ya que la precisión en las prótesis impacta directamente en la salud bucal y la satisfacción del paciente. La implementación de técnicas digitales podría optimizar los tiempos de tratamiento, reducir complicaciones y modernizar los servicios odontológicos en el país, contribuyendo al desarrollo de una odontología más eficiente y accesible para la población.

Esta revisión de literatura permite evaluar la eficacia de las impresiones digitales frente a

las tradicionales, destacando aspectos clave como la precisión, la comodidad del paciente y la eficiencia en los tiempos de tratamiento. La impresión digital, al no requerir materiales de impresión tradicionales como el alginato o silicona, puede ofrecer una mayor precisión y comodidad al eliminar la incomodidad de los moldes, reduciendo el riesgo de distorsión. Por otro lado, la impresión convencional, aunque ampliamente utilizada, puede estar sujeta a errores derivados de la manipulación del material y las variaciones de temperatura. La información obtenida permite a los profesionales de la odontología, especialistas y estudiantes en formación comparar ambas técnicas, contribuyendo así a mejorar las prácticas clínicas, permitiéndoles elegir el método más adecuado según las necesidades del paciente. Además, este tipo de investigación puede impulsar la adopción de nuevas tecnologías, optimizando el diseño y la fabricación de prótesis fijas, mejorando tanto la calidad de los resultados como la experiencia del paciente.

2.1 Preguntas de investigación

1. ¿Cuál es la calidad del modelo generado a partir de impresiones digitales y convencionales en términos de fidelidad y precisión?
2. ¿Cuál es la facilidad de uso y la experiencia del paciente durante el proceso de impresión con las técnicas convencionales y digitales?
3. ¿Cuál es la precisión de las impresiones obtenidas mediante técnicas convencionales y digitales en cuanto a la adaptación marginal de las prótesis fijas sobre dientes naturales?

3. Objetivos

3.1 General

Comparar la precisión de las técnicas de impresión digital y convencional para prótesis fija sobre dientes naturales.

3.2 Específicos

1. Identificar la calidad del modelo generado a partir de impresiones digitales y convencionales en términos de fidelidad y precisión.

2. Determinar la facilidad de uso y la experiencia del paciente durante el proceso de impresión con las técnicas convencionales y digitales.

3. Evaluar la precisión de las impresiones obtenidas mediante técnicas convencionales y digitales en cuanto a la adaptación marginal de las prótesis fijas sobre dientes naturales.

4. Marco teórico

4.1 Antecedentes históricos

Las primeras impresiones dentales surgieron a mediados del siglo XVIII, cuando Philip Pfaff, dentista del rey Federico el Grande de Prusia, desarrolló en 1756 la primera técnica utilizando cera ablandada. A principios del siglo XIX, específicamente en 1820, se introdujo el yeso de París como material para obtener modelos a partir de impresiones, lo que representó un avance significativo. Posteriormente, en la década de 1840, Charles Stent desarrolló la "Masa de Stent", un compuesto termoplástico que mejoró considerablemente las impresiones de la época.⁹

El siglo XX trajo consigo el desarrollo de materiales de impresión elastoméricos, comenzando en 1925 con la introducción del hidrocólido reversible (agar), el primer material de impresión elástico que permitía la reproducción de zonas retentivas. En la década de 1930, el desarrollo del alginato (hidrocólido irreversible) revolucionó las impresiones dentales por su facilidad de uso y bajo costo. A partir de la década de 1950, aparecieron los elastómeros sintéticos: primero los polisulfuros (1950), seguidos por las siliconas de condensación (1955), los poliéteres (1965) y finalmente las siliconas de adición (1975), cada uno mejorando la precisión y estabilidad dimensional.¹⁰

Entre 1980 y 1990, se perfeccionaron las técnicas de impresión convencionales con el desarrollo de cubetas individualizadas y técnicas de impresión con material de consistencia dual. La década de 1990 vio la introducción de sistemas de mezcla automática para materiales de impresión, reduciendo errores de dosificación, y hacia finales de esa década, se logró una mejora significativa en la estabilidad dimensional y precisión de los materiales, especialmente en siliconas de adición y poliéteres.^{5,4}

La odontología digital comenzó a gestarse en la década de 1970, cuando François Duret introdujo en 1973 el concepto de CAD/CAM en odontología. En 1980, el Dr. Werner Mörmann y el ingeniero Marco Brandestini empezaron a desarrollar el sistema CEREC, que se presentaría comercialmente como CEREC 1 en 1985 por Siemens, constituyendo el primer sistema CAD/CAM dental comercial.^{3,9}

La primera generación de escáneres intraorales apareció entre los años 1980 y 2000, con el lanzamiento comercial del CEREC 1 en 1987, primer sistema con capacidad de escaneo intraoral. Durante la década de 1990, se desarrollaron los sistemas iniciales de escaneo basados en imágenes ópticas, y en 2002, Nobel Biocare introdujo el sistema Procera, que incluía escáneres de laboratorio de alta precisión.¹¹

La expansión de las tecnologías de impresión digital se aceleró entre 2000 y 2010. En 2006 se lanzó iTero, el primer escáner intraoral sin necesidad de polvo. El año siguiente, 3M ESPE introdujo el sistema Lava C.O.S., que utilizaba tecnología de vídeo 3D en tiempo real. En 2008, E4D (ahora Planmeca) entró al mercado con un sistema de escaneado y fresado en la consulta, y en 2010, 3Shape lanzó TRIOS, que introdujo los escáneres a color.¹²

Entre 2012 y 2015 se produjo una proliferación de sistemas de escáneres intraorales con mayor precisión y facilidad de uso. De 2015 a 2018, se logró la integración de impresiones digitales con software de planificación de tratamiento y fabricación. Los años 2018-2020 vieron el desarrollo de escáneres sin cables y con mayor velocidad de captura, y desde 2020 hasta la actualidad, se ha implementado la inteligencia artificial para mejorar la precisión y automatizar aspectos del proceso de impresión digital.¹³

Los primeros estudios comparativos entre técnicas digitales y convencionales comenzaron entre 1995 y 2000, con investigaciones iniciales sobre la precisión de escáneres de laboratorio versus técnicas convencionales. Entre 2005 y 2010 se realizaron los primeros estudios sobre

la precisión de escáneres intraorales para coronas unitarias.¹⁴

La evidencia científica sobre ambas técnicas se consolidó durante la década de 2010. Entre 2010 y 2015 hubo un aumento exponencial de publicaciones científicas comparando ambas tecnologías. De 2015 a 2020, las revisiones establecieron parámetros objetivos de comparación. Desde 2020 hasta la actualidad, los estudios se han enfocado en aplicaciones específicas y casos clínicos complejos, evaluando no solo la precisión sino también la eficiencia, la comodidad del paciente y los resultados a largo plazo.⁵

Actualmente, la impresión digital ha ganado aceptación generalizada para prótesis unitarias y de extensión limitada, mientras que las técnicas convencionales siguen siendo el estándar en ciertos escenarios clínicos complejos. La investigación actual se centra en optimizar ambas técnicas y definir sus indicaciones específicas según la evidencia científica. La tendencia apunta hacia flujos de trabajo híbridos que aprovechen las ventajas de ambas tecnologías en diferentes situaciones clínicas.⁸

4.2 Marco conceptual

4.2.1 Prótesis fijas

La prótesis fija sobre dientes naturales constituye un tratamiento restaurador definitivo diseñado para reemplazar dientes ausentes o restaurar dientes gravemente dañados mediante estructuras artificiales que se cementan sobre dientes pilares previamente preparados. Estas restauraciones, a diferencia de las prótesis removibles, permanecen fijas en la boca del paciente y sólo pueden ser retiradas por un profesional dental. Su principal objetivo es restablecer la función masticatoria, fonética y estética, además de prevenir la migración de dientes adyacentes y antagonistas, manteniendo así la integridad del arco dental. (Fig. 1).¹⁵

Existen diversos tipos de prótesis fijas sobre dientes naturales. Las coronas individuales

cubren completamente un diente preparado y se indican en casos de extensa destrucción coronal, tratamientos endodónticos, fracturas a nivel coronario, anomalías de forma o color, y como pilares de puentes. Los puentes dentales tradicionales reemplazan uno o más dientes ausentes mediante una estructura continua que se ancla en dientes pilares adyacentes al espacio edéntulo. Las prótesis parciales fijas adhesivas o puentes Maryland utilizan alas metálicas o de cerámica que se adhieren a la superficie lingual de los dientes pilares, siendo una opción más conservadora. Los inlays y onlays son restauraciones parciales que cubren parte de la corona del diente y se consideran opciones más conservadoras que una corona completa.¹⁶

Figura 1: Prótesis parcial fija dentosoportada para reponer dientes posterosuperiores ausentes.



Fuente: Mangano FG, Admakin O, Bonacina M. Trueness of 12 intraoral scanners in the full-arch implant impression: A comparative in vitro study. BMC Oral Health. 2020;20(1):263.

Están indicadas en casos donde las alternativas removibles resultan inconvenientes o inaceptables para el paciente, y en situaciones donde los implantes dentales no son viables por razones anatómicas, económicas o médicas.¹⁷

Entre las contraindicaciones se encuentran los pilares con pronóstico cuestionable debido a enfermedad periodontal avanzada, soporte óseo insuficiente o ratio corona-raíz desfavorable. Pacientes con higiene oral deficiente o alto riesgo de caries representan casos de riesgo. Espacios edéntulos extensos con pocos pilares disponibles pueden comprometer el éxito a largo plazo. Las contraindicaciones también incluyen dientes con cámaras pulpares amplias en pacientes jóvenes, presencia de parafunciones severas no controladas como bruxismo, y limitaciones económicas del paciente. En algunos casos, la presencia de ciertos trastornos sistémicos puede contraindicar procedimientos complejos de prótesis fija.¹⁸

La preparación dental para prótesis fijas requiere un enfoque sistemático y meticuloso. Primero se evalúa el estado endodóntico y periodontal del diente pilar. La preparación inicia con la reducción oclusal o incisal de 1.5-2 mm, respetando la anatomía original. La reducción axial de las paredes debe permitir un grosor adecuado del material restaurador, generalmente entre 1-1.5 mm para metal-cerámica y 1.5-2 mm para cerámica completa. La terminación cervical debe ser precisa, creando una línea de terminación clara, ya sea en chamfer, hombro u hombro biselado, según el material restaurador planificado. En algunos casos se requiere la colocación de postes y muñones cuando la estructura coronal remanente es insuficiente para retener la restauración.^{7,19}

Respecto a los materiales utilizados en prótesis fijas, las restauraciones metal-cerámicas han sido el estándar durante décadas, combinando la resistencia de una subestructura metálica (aleaciones nobles o no nobles) con la estética de un recubrimiento cerámico. Las restauraciones totalmente cerámicas han ganado popularidad por su excelente estética y biocompatibilidad, utilizando materiales como la cerámica feldespática, disilicato de litio o zirconia. Las restauraciones de metal colado, como coronas o inlays/onlays de oro, ofrecen excelente adaptación marginal y mínimo desgaste del diente antagonista. Más recientemente,

los materiales híbridos como las cerámicas reforzadas con resina o las resinas nanocerámicas proporcionan alternativas que combinan las ventajas de diferentes materiales. Para la cementación, se emplean diversos agentes según el tipo de restauración, desde cementos convencionales (fosfato de zinc, ionómero de vidrio) hasta sistemas adhesivos resinosos para restauraciones estéticas.²⁰

4.2.2 Técnicas de impresión convencional

Los materiales de impresión convencionales se clasifican principalmente en rígidos y elásticos. Los materiales rígidos, como el yeso de impresión y la pasta zinquenólica, no permiten registrar zonas retentivas debido a su incapacidad para deformarse. En contraste, los materiales elásticos se dividen en hidrocoloides (reversibles como el agar e irreversibles como el alginato) y elastómeros. Los elastómeros incluyen cuatro tipos principales: polisulfuros, siliconas de condensación, siliconas de adición (polivinilsiloxanos) y poliéteres. Las siliconas de adición destacan por su excelente estabilidad dimensional, alta precisión, recuperación elástica superior y resistencia al desgarro. Los poliéteres ofrecen gran rigidez y reproducción detallada, siendo hidrofílicos por naturaleza. Cada material posee propiedades específicas de tiempo de trabajo, recuperación elástica, estabilidad dimensional y reproducción de detalles que determinan su indicación clínica.²¹

Las técnicas de impresión convencional se realizan principalmente mediante dos metodologías: técnica a un paso (monofásica o de un tiempo) y técnica a dos pasos (bifásica o de dos tiempos). En la técnica monofásica, se utiliza un material de viscosidad media que se coloca simultáneamente en la cubeta y mediante jeringa sobre las preparaciones dentales, tomando la impresión en un único acto. La técnica de doble mezcla es una variante que utiliza dos viscosidades (pesada en cubeta y ligera en jeringa) aplicadas simultáneamente. Por otro lado, la técnica a dos pasos implica una primera impresión con material de consistencia

pesada, creando un espacio mediante recortes o colocación de láminas espaciadoras, seguida de una segunda impresión con material fluido que registra los detalles finos. La selección de la técnica depende de la situación clínica, el número de preparaciones, la localización de los márgenes y la preferencia del clínico.²²

Figura 2: Cubetas de impresión prefabricadas con alginato.



Fuente: Kim RJ, Benic GI, Park JM. Trueness of ten intraoral scanners in determining the positions of simulated implant scan bodies. *Sci Rep.* 2021;11(1):2606.

Las cubetas de impresión son dispositivos fundamentales que contienen y transportan el material de impresión a la boca. Se clasifican en estándar (prefabricadas) o individualizadas (personalizadas). Las cubetas estándar pueden ser metálicas reutilizables o plásticas desechables, y existen en diferentes tamaños y formas para maxilar y mandíbula. Pueden ser completas (para toda la arcada) o parciales (para un segmento). Las cubetas individualizadas se fabrican específicamente para cada paciente sobre un modelo preliminar, utilizando resina acrílica o materiales termoplásticos, proporcionando un espacio uniforme para el material de impresión. La selección adecuada de la cubeta debe considerar su rigidez, retención del material mediante perforaciones o adhesivos específicos, extensión que cubra todas las áreas

a reproducir, y espacio uniforme (2-3 mm) para el material de impresión, asegurando que no contacte con las estructuras dentales o tejidos. (Fig. 2).²³

Diversos factores influyen en la precisión de las impresiones convencionales. La técnica del operador resulta fundamental, requiriendo control de humedad, manejo adecuado de tejidos blandos, y correcta mezcla y aplicación del material. La preparación dental debe presentar líneas de terminación claras y accesibles, sin socavados que dificulten la impresión o remoción. El control de fluidos orales mediante sistemas de retracción gingival, hemostáticos y aislamiento adecuado es crucial, ya que la contaminación con sangre o saliva interfiere con la polimerización. La selección apropiada del material según sus propiedades físicas y su correcta manipulación (proporción, tiempo y método de mezcla) determinan su comportamiento. Asimismo, el respeto escrupuloso de los tiempos de trabajo y fraguado recomendados por el fabricante evita distorsiones por remoción prematura o excesiva permanencia en boca. Finalmente, factores ambientales como temperatura y humedad afectan la polimerización, mientras que el almacenamiento y tiempo transcurrido hasta el vaciado pueden comprometer la estabilidad dimensional de ciertos materiales.²⁴

4.2.3 Técnicas de impresión digital

Los fundamentos del escaneo intraoral se basan en tecnologías ópticas avanzadas que permiten capturar la topografía tridimensional de las estructuras dentales y tejidos circundantes. Estos sistemas utilizan principios como la triangulación activa, donde una fuente de luz proyecta un patrón conocido sobre la superficie dental y una cámara registra la deformación de este patrón, calculando distancias mediante trigonometría. Otra tecnología empleada es la microscopía confocal, que captura múltiples imágenes a diferentes profundidades de campo, combinándolas para crear una imagen 3D precisa. También se utiliza la tomografía de coherencia óptica, que mide el tiempo de retraso y la intensidad de la

luz reflejada. Independientemente de la tecnología subyacente, todos los escáneres intraorales transforman datos ópticos en nubes de puntos tridimensionales que posteriormente se procesan mediante algoritmos para generar un modelo digital. Este proceso elimina los inconvenientes asociados a las impresiones convencionales como la incomodidad del paciente, distorsiones del material y errores de expansión del yeso.²⁵

Figura 3: Sistema TRIOS (3Shape) de impresión digital.



Fuente: Dutton E, Ludlow M, Mennito A. The effect different substrates have on the trueness and precision of eight different intraoral scanners. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(2):204-218.

Existe una amplia variedad de escáneres intraorales en el mercado, cada uno con características distintivas. El sistema CEREC (Dentsply Sirona) fue pionero y utiliza tecnología de triangulación con luz azul, permitiendo tanto captura de imágenes como fabricación inmediata. Los escáneres iTero (Align Technology) emplean tecnología de imagen confocal paralela y destacan por no requerir polvo, capturar en color y ofrecer simulación de tratamientos ortodónticos. El sistema TRIOS (3Shape) utiliza tecnología de microscopía confocal con iluminación LED y escaneo ultrarrápido, ofreciendo modelos a color con medición de tonalidades dentales. El CS 3600/3700 (Carestream Dental) proporciona escaneo de alta velocidad con tecnología de vídeo 3D en tiempo real. Primescan (Dentsply Sirona) representa la última generación con tecnología de fotometría dinámica que

permite escanear superficies con profundidad de campo aumentada. Las diferencias entre estos sistemas radican en su precisión, velocidad de escaneo, necesidad de polvo, capacidad para capturar imágenes a color, tamaño del cabezal de escaneo, integración con otros sistemas digitales y costo. (Fig. 3).²⁶

El flujo de trabajo digital en prótesis fija comienza con la preparación dental, similar a la convencional, aunque con consideraciones específicas para optimizar el escaneado como terminaciones claras y evitar ángulos muertos. La fase de escaneo incluye un protocolo sistemático: digitalización de las preparaciones, arcada antagonista y registro oclusal. El manejo de tejidos blandos mediante retracción gingival sigue siendo esencial para visualizar los márgenes. Tras la adquisición, el software procesa automáticamente las imágenes, permitiendo al clínico evaluar la calidad del escaneo y repetir áreas específicas si es necesario. El modelo digital resultante se utiliza para diseñar la restauración mediante software CAD especializado, donde se definen márgenes, ejes de inserción y anatomía. Una vez finalizado el diseño, los archivos digitales pueden ser enviados electrónicamente a un laboratorio o procesados in situ mediante unidades de fresado o impresión 3D, eliminando la necesidad de modelos físicos. Finalmente, la restauración fabricada se prueba clínicamente, se ajusta si es necesario y se cementa definitivamente.¹²

Las tecnologías CAD/CAM aplicadas a prótesis fijas han revolucionado los procesos restauradores. Tras la adquisición digital, los sistemas CAD permiten diseñar restauraciones mediante interfaces intuitivas que ofrecen bibliotecas de anatomía dental, herramientas para ajustar contactos proximales y oclusales, y visualización desde múltiples ángulos. La fase CAM transforma estos diseños digitales en restauraciones físicas mediante dos métodos principales: técnicas sustractivas y aditivas. Las técnicas sustractivas o fresado arrancan material de un bloque prefabricado mediante fresas computarizadas, siendo ideales para

materiales como cerámicas de alta resistencia y zirconia. Los sistemas pueden ser chairside (en consulta), como CEREC o Planmeca, o laboratoriales, con mayor capacidad y precisión. Las técnicas aditivas, como la impresión 3D o sinterizado láser selectivo, construyen la restauración capa por capa, optimizando el uso de material. Los materiales empleados incluyen cerámicas como disilicato de litio, zirconia, composites de alta densidad, cerámicas híbridas, polímeros avanzados y materiales metálicos. Esta tecnología permite combinar alta precisión, reproducibilidad, eficiencia temporal y opciones de materiales innovadores, representando la evolución natural de los procedimientos protésicos tradicionales. (Fig. 4).¹⁴

Figura 4: CAD/Cam en diseño de prótesis.



Fuente: Atieh M, Ritter AV, Ko CC, Duqum I. Accuracy evaluation of intraoral optical impressions: A clinical study using a reference appliance. J Prosthet Dent. 2021;125(1):105-110.

4.2.4 Precisión en impresiones digitales y convencionales

En odontología, la precisión y exactitud son conceptos distintos pero complementarios que definen la calidad de las impresiones dentales. La exactitud se refiere a qué tan cercana está

una medición al valor real o verdadero, indicando la ausencia de error sistemático. Una impresión exacta reproduce fielmente las dimensiones reales de las estructuras orales. Por otro lado, la precisión se relaciona con la reproducibilidad o consistencia de mediciones repetidas, reflejando la ausencia de error aleatorio. Una técnica de impresión precisa proporciona resultados consistentes cuando se repite múltiples veces. En el contexto protésico, ambas cualidades son esenciales: la exactitud garantiza que la restauración final se ajuste correctamente a las estructuras orales del paciente, mientras que la precisión asegura que el proceso sea confiable y predecible. El éxito clínico de una prótesis fija depende crucialmente de la capacidad de la impresión para reproducir con fidelidad las preparaciones dentales, particularmente en áreas críticas como los márgenes cervicales.^{8, 11}

Las técnicas de impresión dentales convencionales, que incluyen materiales como alginatos, siliconas y poliéteres, han demostrado una precisión clínicamente aceptable durante décadas en la práctica odontológica. Los alginatos, aunque económicos y de fácil manipulación, presentan limitaciones en cuanto a estabilidad dimensional y detalle superficial, siendo más susceptibles a distorsiones por cambios de humedad y temperatura. Las siliconas de condensación y adición ofrecen mayor precisión dimensional, con capacidad para reproducir detalles finos de hasta 25 micrómetros, mientras que los poliéteres proporcionan excelente fluidez y capacidad de registro de márgenes subgingivales. Sin embargo, factores como la técnica del operador, tiempo de trabajo, condiciones de almacenamiento y el proceso de vaciado en yeso pueden afectar significativamente la fidelidad final de la impresión. Aunque estas técnicas tradicionales siguen siendo ampliamente utilizadas y confiables para la mayoría de procedimientos restaurativos, su precisión puede verse comprometida en casos que requieren máxima exactitud, como prótesis implantosoportadas o restauraciones de alta complejidad estética.^{12, 22}

La evaluación de la precisión en impresiones dentales se realiza mediante diversos métodos científicos, tanto para técnicas convencionales como digitales. La microscopía óptica y electrónica permite examinar detalladamente la reproducción de detalles finos y la integridad marginal. La medición del desajuste marginal e interno utiliza técnicas como la réplica de silicona, donde se mide el espacio entre la restauración y el modelo mediante un material de impresión fluido seccionado y observado al microscopio. Los sistemas de análisis tridimensional, como el escaneo con microtomografía computarizada (micro-CT), permiten evaluar con alta resolución la geometría completa de modelos y restauraciones. Para impresiones digitales, el análisis de superposición utiliza software especializado que compara el modelo digital con un modelo de referencia (generalmente obtenido mediante escáneres industriales de alta precisión), calculando desviaciones punto a punto y generando mapas de color que visualizan discrepancias. Los parámetros comúnmente evaluados incluyen discrepancia marginal, ajuste interno, posición tridimensional de los dientes, dimensiones de arco y reproducción de detalles finos.²⁷

Numerosos factores clínicos influyen significativamente en la precisión de las impresiones dentales, elemento crítico para el éxito de tratamientos restauradores y protésicos. La experiencia y habilidad del operador constituyen variables fundamentales, determinando la correcta aplicación de protocolos y el manejo adecuado de tecnologías y materiales durante el procedimiento. El manejo adecuado de tejidos blandos mediante retracción gingival efectiva resulta esencial para exponer los márgenes subgingivales sin dañar el periodonto. La insuficiente exposición compromete la reproducción de detalles marginales, mientras que el trauma gingival puede provocar sangrado que obstaculiza la visibilidad y precisión del procedimiento. Las técnicas de retracción deben adaptarse a cada situación clínica particular.²²

En impresiones digitales, influyen aspectos específicos como la presencia de superficies reflectantes que pueden distorsionar la captura de imágenes, las limitaciones en profundidad de escaneo especialmente en preparaciones subgingivales profundas, y la accesibilidad a zonas posteriores con escáneres de mayor tamaño. Los movimientos del paciente o del operador durante la adquisición pueden generar discontinuidades en el modelo virtual. Adicionalmente, la resolución del escáner, el algoritmo de procesamiento y la estrategia de captura determinan la calidad final del modelo digital.²³

La presencia de humedad, sangre o saliva interfiere tanto con la polimerización de materiales convencionales como con la reflectividad de superficies durante el escaneo digital, comprometiendo ambas técnicas. Adicionalmente, características anatómicas como limitaciones de apertura bucal, forma del paladar, inserción de frenillos y presencia de torus pueden complicar el procedimiento. La existencia de restauraciones metálicas puede generar artefactos específicamente en impresiones digitales, mientras que en impresiones convencionales pueden causar deformación durante la remoción.²⁵

Las estrategias para optimizar la precisión de impresiones varían según la técnica empleada, pero existen principios aplicables a ambas modalidades. Para técnicas convencionales, es fundamental seleccionar materiales de alta calidad con comprobada estabilidad dimensional, utilizar sistemas de doble mezcla o dos pasos con siliconas de adición o poliéteres, y aplicar adhesivo específico en cubetas rígidas individualizadas. El control de humedad mediante retracción gingival atraumática con hilos de doble capa o sistemas expansivos, combinados con hemostáticos cuando sea necesario, resulta crucial. En el ámbito digital, la preparación de superficies mediante secado adecuado, la aplicación selectiva de polvo opacificante cuando el sistema lo requiera, y seguir un protocolo sistemático de escaneo que minimice la acumulación de errores son prácticas recomendadas.

Para ambas técnicas, las preparaciones dentales deben diseñarse con líneas de terminación claramente definidas, preferiblemente supragingival o yuxtagingival cuando sea posible, y con acabados pulidos que faciliten la reproducción. La formación continua del profesional, tanto en técnicas convencionales como digitales, junto con la comunicación efectiva con el laboratorio dental, contribuyen significativamente a mejorar la precisión. Finalmente, implementar sistemas de verificación, como modelos de comprobación o escaneados de control, permite detectar y corregir errores antes de la fabricación definitiva de la prótesis.²⁸

4.2.5 Estudios comparativos entre técnicas digitales y convencionales

Los estudios comparativos sobre precisión dimensional entre técnicas de impresión digitales y convencionales han arrojado resultados variados dependiendo de las condiciones específicas evaluadas. Para restauraciones unitarias, múltiples investigaciones han demostrado que ambas técnicas pueden lograr niveles de precisión clínicamente aceptables, con desajustes marginales dentro del rango considerado admisible (50-120 μm). Los metaanálisis recientes sugieren que las impresiones digitales ofrecen precisión comparable o superior a las convencionales en casos de coronas unitarias y prótesis parciales fijas de tramo corto. Sin embargo, en situaciones clínicas más complejas, como impresiones de arcada completa o prótesis de tramo largo, las técnicas convencionales tienden a mantener cierta ventaja. Esto se debe principalmente a la acumulación de errores durante el escaneo digital de superficies extensas, un fenómeno conocido como "error de propagación" que afecta particularmente a los extremos distales de la arcada. Las últimas generaciones de escáneres intraorales han reducido significativamente esta discrepancia mediante algoritmos de procesamiento más eficientes y tecnologías de captura mejoradas, estrechando progresivamente la brecha de precisión entre ambas técnicas.^{29,30}

Respecto al tiempo clínico requerido, las investigaciones han demostrado

consistentemente que las impresiones digitales ofrecen ventajas significativas. Estudios comparativos que miden el tiempo efectivo de operación indican que, tras superar la curva de aprendizaje inicial, las impresiones digitales pueden realizarse en aproximadamente la mitad del tiempo que las convencionales. Mientras una impresión convencional completa (incluyendo preparación de materiales, toma de impresión, desinfección y tiempo de fraguado) puede requerir entre 10 y 25 minutos, una impresión digital completa suele completarse en 4-12 minutos. Esta eficiencia se amplifica en casos que requieren múltiples impresiones o repeticiones debido a errores, ya que el escaneado digital permite visualización inmediata y corrección selectiva de áreas específicas sin necesidad de repetir todo el procedimiento. Adicionalmente, la eliminación de pasos como mezclado de materiales, selección y preparación de cubetas, y tiempos de espera para polimerización contribuye a una reducción global del tiempo clínico, aunque debe considerarse que la fase de aprendizaje inicial puede temporalmente invertir esta tendencia para profesionales que se inician en técnicas digitales.^{21, 31, 32}

El confort del paciente representa una ventaja consistentemente documentada a favor de las impresiones digitales. Estudios basados en cuestionarios estandarizados y escalas de percepción muestran una preferencia clara por procedimientos digitales, especialmente en pacientes con reflejo nauseoso pronunciado, limitaciones de apertura bucal o experiencias previas negativas con materiales de impresión convencionales. Los principales factores que contribuyen a esta preferencia incluyen la eliminación de la sensación de presión y materiales con textura y sabor desagradables, reducción en la sensación de ahogo o falta de aire, menor tiempo de procedimiento con posibilidad de pausas entre segmentos escaneados, y minimización de incomodidades post-operatorias como irritación gingival o sensibilidad dental. Encuestas comparativas han determinado que aproximadamente el 80-90% de los pacientes que han experimentado ambas técnicas prefieren el procedimiento digital,

considerándolo significativamente menos invasivo y estresante, lo cual puede resultar particularmente beneficioso en pacientes pediátricos, ansiosos o con reflejo nauseoso pronunciado.^{33, 34}

La eficiencia del flujo de trabajo constituye quizás el aspecto donde las diferencias entre ambas técnicas resultan más evidentes. Las impresiones convencionales requieren un proceso secuencial que incluye selección de materiales y cubetas, mezclado, toma de impresión, desinfección, embalaje, transporte físico al laboratorio, vaciado en yeso, articulado de modelos, y fabricación de la restauración. Este flujo puede extenderse durante días y está sujeto a múltiples puntos potenciales de error. En contraste, el flujo digital elimina pasos intermedios mediante la transmisión electrónica inmediata de archivos al laboratorio, la generación virtual de modelos y la posibilidad de diseño y fabricación directos. Estudios sobre eficiencia de procesos indican reducciones aproximadas del 30-50% en el tiempo total desde impresión hasta entrega final de la restauración. Adicionalmente, el flujo digital facilita la comunicación entre clínicos y técnicos mediante herramientas de visualización compartida y anotaciones digitales, permitiendo decisiones colaborativas sin necesidad de presencia física simultánea. Esta integración ha demostrado reducir significativamente las repeticiones por errores de comunicación, contribuyendo a una mayor predictibilidad y consistencia de resultados, aunque requiere inversión inicial en equipamiento y capacitación que debe considerarse en el análisis costo-beneficio global.^{35, 36}

4.2.6 Ajuste marginal y adaptación interna de prótesis fijas

La influencia del método de impresión en el ajuste final es significativa. Estudios comparativos demuestran que tanto las técnicas convencionales con materiales elastoméricos de alta precisión (siliconas de adición y poliéteres) como las digitales pueden lograr ajustes dentro de rangos clínicamente aceptables. Las impresiones digitales tienden a producir

coronas con mejor ajuste marginal en restauraciones unitarias, mientras que las convencionales mantienen cierta ventaja en prótesis de tramos largos. La elección de la técnica debe considerar factores como ubicación de márgenes, complejidad del caso y preferencias del profesional, siendo crucial la correcta ejecución del protocolo seleccionado para garantizar resultados óptimos.³⁷

4.2.7 Perspectivas futuras y tendencias

Los avances tecnológicos emergentes en técnicas de impresión dental apuntan hacia escáneres intraorales cada vez más compactos, rápidos y precisos. Los dispositivos de nueva generación incorporan cabezales más pequeños para mejorar el acceso a zonas posteriores y sensores de mayor resolución que capturan detalles a nivel micrométrico. La tecnología de escaneo en color real con capacidad de análisis de tonalidades dentales integrado facilita la selección cromática para restauraciones estéticas. Simultáneamente, se desarrollan sistemas de escaneo multimodal que combinan imágenes ópticas con otros métodos diagnósticos como fluorescencia o transiluminación, permitiendo detectar caries o fracturas durante el proceso de impresión. La realidad aumentada y los dispositivos hápticos están integrándose progresivamente, ofreciendo retroalimentación táctil durante procedimientos virtuales y mejorando la planificación de tratamientos complejos.³⁸

La integración de la inteligencia artificial está revolucionando los sistemas de impresión digital. Los algoritmos de aprendizaje automático permiten la detección y corrección automática de imperfecciones en el escaneo, identificando áreas con datos insuficientes y guiando al clínico durante la captura. Sistemas basados en IA pueden reconocer automáticamente márgenes de preparación, sugerir ejes de inserción óptimos y generar diseños protésicos preliminares basados en parámetros anatómicos individualizados. El procesamiento de imágenes mediante redes neuronales mejora la identificación de estructuras

anatómicas y elimina artefactos, optimizando la calidad de los modelos digitales. Adicionalmente, algoritmos predictivos analizan patrones de desgaste, tensiones oclusales y comportamiento biomecánico, anticipando el rendimiento a largo plazo de distintas opciones restauradoras antes de su fabricación. Esta evolución apunta hacia sistemas cada vez más autónomos que reducen la variabilidad asociada al factor humano.^{39, 40}

Los nuevos materiales restauradores están evolucionando en paralelo con las tecnologías de impresión. Las cerámicas híbridas y nanocomposites de última generación ofrecen propiedades mecánicas optimizadas para fresado digital, combinando resistencia con estética superior. Materiales bioactivos capaces de interactuar con tejidos orales, liberando iones remineralizantes o factores de crecimiento, se están adaptando a flujos de trabajo digitales. Para fabricación aditiva, las resinas fotopolimerizables reforzadas con partículas cerámicas permiten imprimir directamente restauraciones definitivas, mientras que los materiales termoplásticos de alto rendimiento facilitan la producción de componentes provisionales o quirúrgicos. La nanotecnología está posibilitando superficies con propiedades antibacterianas o autolimpiantes en restauraciones fabricadas digitalmente. Esta evolución material impulsa la tendencia hacia sistemas completamente digitales, desde la impresión hasta la restauración final, eliminando progresivamente las fases intermedias analógicas y consolidando un flujo de trabajo íntegramente digital que promete mayor precisión, personalización y eficiencia en tratamientos protésicos.^{41, 42}

4.2.8 Revisión de literatura

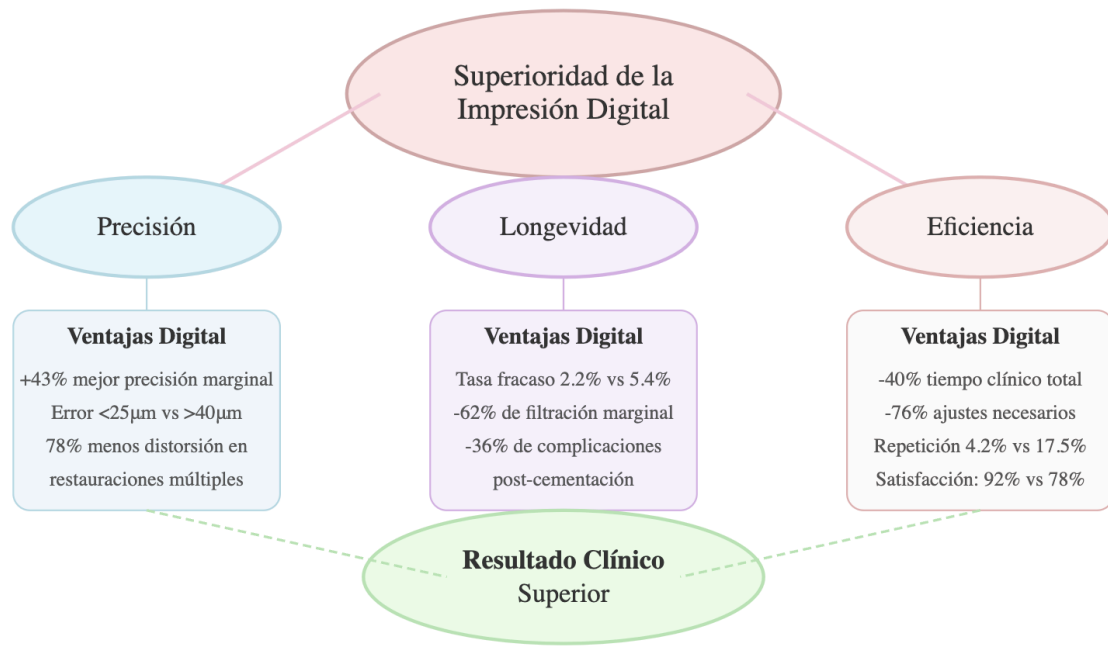
4.2.8.1 Eficiencia de las técnicas de impresión digitales vs convencionales

Diversos estudios han evaluado comparativamente ambas metodologías en términos de precisión, eficiencia y satisfacción del paciente. En cuanto a la precisión y exactitud, se realizó un metaanálisis en 2023 que evaluó 32 estudios clínicos, demostró que las

impresiones digitales producen restauraciones con un ajuste marginal promedio de 56.1 μm , comparado con 73.8 μm para impresiones convencionales en prótesis fijas. Esta diferencia resultó estadísticamente significativa ($p < 0.001$). Para prótesis completas, en 2020 un estudio encontró desviaciones medias de 0.08 mm para técnicas digitales versus 0.17 mm para convencionales.³⁹

Respecto a la eficiencia clínica, en 2022 se documentó en un estudio una reducción significativa del tiempo clínico: 12.3 minutos para impresiones digitales completas versus 24.5 minutos para impresiones convencionales con silicona. En casos de arcos completos para prótesis sobre implantes, se reportaron tiempos medios de 14.8 minutos para digital y 32.6 minutos para convencional. Esto representa una reducción promedio del 55% en tiempo clínico. De igual forma, la satisfacción del paciente fue evaluada mediante cuestionarios validados, donde las impresiones digitales recibieron puntuaciones significativamente más altas en comodidad (8.2/10 vs 4.8/10), sabor/olor (9.3/10 vs 5.2/10) y sensación de náusea (9.1/10 vs 6.5/10). Particularmente en pacientes con reflejo nauseoso aumentado, se observó una reducción del 78% en la activación del reflejo con técnicas digitales. (Fig. 5).⁴³

Figura 5: Mapa conceptual sobre las ventajas de las técnicas de impresión digital.



Fuente: Kim RJ, Benic GI, Park JM. Trueness of ten intraoral scanners in determining the positions of simulated implant scan bodies. Sci Rep. 2021;11(1):2606.

5. Marco metodológico

5.1 Tipo de estudio

Este trabajo de investigación es de tipología descriptiva y consistió en una revisión bibliográfica, en el que se realizó una selección detallada y crítica de información para explorar recursos disponibles sobre precisión de las técnicas de impresión digital y convencional para prótesis fija sobre dientes naturales.

5.2 Estrategias de búsqueda de bibliografía

La búsqueda de la literatura fue realizada mediante buscadores de salud como PubMed, Redalyc y BMC, además de la búsqueda en EBSCO y Cochrane como base de datos. Entre las palabras clave utilizadas se incluyen impresión digital intraoral, técnicas convencionales elastoméricas, precisión marginal protésica, ajuste interno restaurador y digitalización prostodóntica. Además, se utilizaron Descriptors of Health Sciences (DeCS) y Medical Subject Headings (MeSH) para buscar las palabras clave anteriores junto con los operadores booleanos: and, or, not.

5.3 Criterios de búsqueda bibliográfica

Los artículos que fueron escogidos cumplieron los siguientes criterios:

Artículos de investigación originales y revisiones de literatura.

Artículos de revisión publicados entre el 2020 y el 2025.

Estudios de casos clínicos.

6. Discusión

El avance y desarrollo de las técnicas de impresión digital en odontología ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas, transformando radicalmente los paradigmas tradicionales de la práctica prostodóntica. En un estudio publicado recientemente⁴⁴, se destaca que la evolución tecnológica en el campo de la prostodoncia ofrece posibilidades revolucionarias para la elaboración de prótesis fijas que integren de manera óptima los requisitos de precisión y eficiencia clínica en los procedimientos restaurativos, estableciendo nuevos estándares de calidad en la atención odontológica contemporánea.

Las técnicas de impresión digital representan una de las alternativas más prometedoras para la obtención de registros de alta precisión en prótesis fija sobre dientes naturales. Investigaciones contemporáneas^{45, 46} señalan que estos sistemas ofrecen ventajas significativas como reducción sustancial del tiempo clínico, eliminación completa de materiales de impresión tradicionales, mejora notable en la experiencia del paciente, capacidad ilimitada de almacenamiento digital, propiedades de reproducibilidad superiores y facilidad de comunicación con el laboratorio dental, características que han posicionado a la tecnología digital como una herramienta fundamental e indispensable en la práctica prostodóntica moderna. Además, estos sistemas permiten la visualización inmediata del registro obtenido, facilitando la detección temprana de áreas deficientes y la posibilidad de repetir sectores específicos sin necesidad de reiniciar completamente el procedimiento.

La precisión dimensional constituye uno de los aspectos más críticos en la evaluación de las técnicas de impresión, ya que determina directamente la calidad del ajuste marginal y la longevidad clínica de las restauraciones protésicas. Un análisis comparativo reciente^{47, 48} demuestra que los escáneres intraorales de última generación alcanzan niveles de precisión

que oscilan entre 15 a 50 micrones, valores que se consideran clínicamente aceptables para la mayoría de aplicaciones prostodónticas. Sin embargo, esta precisión puede verse influenciada por múltiples variables técnicas y clínicas que requieren consideración detallada durante la planificación del tratamiento.

Sin embargo, al comparar las impresiones digitales con las técnicas convencionales tradicionalmente utilizadas en la práctica odontológica, un análisis exhaustivo⁴⁹ concluye que, a pesar de ser un método altamente indicado para el desarrollo óptimo de los procedimientos prostodónticos por sus cualidades innovadoras y ventajas tecnológicas, en la práctica clínica diaria se han reportado variaciones en la precisión dimensional que pueden influir significativamente en el ajuste marginal de las restauraciones, especialmente en casos complejos de rehabilitaciones extensas, preparaciones subgingivales profundas, o en situaciones clínicas que involucran múltiples unidades protésicas con relaciones oclusales críticas.

Los factores que influyen directamente en la precisión de las impresiones digitales, según se describe detalladamente en una investigación⁵⁰, provienen fundamentalmente de las características anatómicas inherentes del sustrato dental, incluyendo la estructura histológica y composición química del esmalte y dentina, así como las condiciones del periodonto circundante. Un estudio técnico comprehensivo⁵¹ sugiere que para obtener registros digitales óptimos y clínicamente aceptables es necesario que las superficies dentales presenten condiciones adecuadas de visibilidad directa, accesibilidad instrumental apropiada, un control efectivo y sostenido de la humedad durante todo el procedimiento de escaneo. En circunstancias clínicas normales, la presencia inevitable de saliva, sangre, y fluido crevicular puede comprometer significativamente la calidad del escaneo digital, lo que requiere la implementación de protocolos específicos y rigurosos de aislamiento del campo operatorio.

La influencia del operador constituye otro elemento determinante en la obtención de impresiones digitales precisas. Los reportes de un estudio⁵² indican que la curva de aprendizaje asociada con estos sistemas puede extenderse considerablemente, requiriendo entrenamiento específico y práctica continua para dominar las técnicas de escaneo, especialmente en áreas anatómicamente complejas como sectores posteriores, zonas interproximales estrechas, y márgenes cervicales irregulares. La técnica de movimiento del escáner, la velocidad de captura, y la estrategia de escaneo adoptada influyen directamente en la calidad final del modelo digital obtenido.

Otro factor determinante en la precisión dimensional, según se desarrolla comprehensivamente en una publicación⁵³, se relaciona con las limitantes técnicas inherentes de los escáneres intraorales en áreas de difícil acceso visual y mecánico. La zona cervical y subgingival continúa representando un desafío técnico significativo para la captura digital precisa, como lo evidencian los múltiples estudios comparativos que se realizan constantemente para optimizar los algoritmos de procesamiento de imágenes, mejorar la resolución espacial en estas áreas críticas, y desarrollar estrategias clínicas que permitan una mejor visualización de los márgenes de preparación.

Revisiones sistemáticas⁵² han mencionado como la precisión de las impresiones en relación con la adaptación marginal de las prótesis fijas presenta diferencias sustanciales entre las técnicas convencionales y digitales. Las impresiones convencionales, utilizando elastómeros como siliconas de adición y poliéteres, han demostrado capacidad para registrar detalles marginales con precisión clínicamente aceptable, permitiendo la fabricación de restauraciones con discrepancias marginales dentro del rango de 50-100 micrómetros considerado satisfactorio; sin embargo, factores como la presencia de humedad, sangrado gingival, retracción gingival inadecuada y las propiedades viscoelásticas de los materiales

pueden comprometer la definición marginal, resultando en imprecisiones que se traducen en desajustes de las restauraciones finales. En contraste, las impresiones digitales han revolucionado la precisión marginal al eliminar las variables asociadas con los materiales de impresión y permitir una captura directa de la geometría marginal sin distorsiones, donde los escáneres intraorales modernos pueden detectar y reproducir discontinuidades marginales con una resolución superior, facilitando la visualización tridimensional inmediata de la calidad de la preparación y permitiendo correcciones in situ. Estudios comparativos han demostrado que las prótesis fabricadas a partir de impresiones digitales presentan discrepancias marginales significativamente menores, con valores promedio entre 30-60 micrómetros comparados con los 50-100 micrómetros de las técnicas convencionales, contribuyendo a una mejor longevidad clínica y menor incidencia de complicaciones biológicas asociadas con desajustes marginales.

Las condiciones ambientales del consultorio también ejercen influencia sobre la calidad de las impresiones digitales. Una investigación reciente⁵⁴ demuestra que factores como la temperatura ambiente, la humedad relativa, y las condiciones de iluminación pueden afectar el rendimiento de los escáneres intraorales, especialmente aquellos que utilizan tecnología de luz estructurada o interferometría. Estos factores ambientales pueden generar artefactos en la imagen digital que comprometen la precisión dimensional del modelo virtual resultante.

En contraste con las limitaciones mencionadas, se encuentran los hallazgos prometedores de investigaciones recientes^{55, 56} que demuestran categóricamente que las impresiones digitales ofrecen una precisión superior en términos de reproducibilidad y estabilidad dimensional a largo plazo, ya que eliminan completamente las variables e inconsistencias asociadas con los materiales de impresión convencionales, como la contracción de polimerización, las deformaciones por manipulación, y las distorsiones temporales del

material. Además, permiten un flujo de trabajo completamente digital e integrado, lo que resulta en restauraciones con mejor ajuste marginal, contactos oclusales más precisos y reproducibles, y mayor predictibilidad en los resultados finales, especialmente cuando se utilizan sistemas CAD/CAM completamente integrados que minimizan las interfaces entre diferentes tecnologías.

Estudios⁵⁰ han establecido que la calidad del modelo generado a partir de impresiones digitales ha experimentado avances significativos en términos de fidelidad y precisión, superando en muchos aspectos a las técnicas convencionales. Los escáneres intraorales actuales pueden alcanzar una resolución de hasta 20 micrómetros, proporcionando una reproducción altamente detallada de las estructuras dentales y tejidos blandos. La ausencia de materiales de impresión elimina las distorsiones inherentes a estos materiales, como la contracción de polimerización o los cambios dimensionales por temperatura y humedad. Además, el proceso digital permite la captura inmediata de datos sin las variables asociadas al tiempo de fraguado, manipulación del material y técnica del operador, resultando en una mayor consistencia y reproducibilidad de los resultados.

Revisiones literarias⁴⁹ establecen que los modelos generados por métodos convencionales, aunque clínicamente aceptables, presentan limitaciones inherentes relacionadas con la cadena de procedimientos necesarios para su obtención. La precisión final depende no solo de la calidad del material de impresión utilizado, sino también del proceso de vaciado en yeso, donde factores como la proporción agua-polvo, tiempo de mezclado, vibración y condiciones de fraguado pueden producir inexactitudes. Los modelos en yeso tradicionales pueden presentar porosidades superficiales, variaciones dimensionales y pérdida de detalle en áreas críticas como márgenes subgingivales o espacios interdentes estrechos. Sin embargo, cuando se ejecutan con técnica rigurosa y materiales de alta calidad, estos modelos mantienen

su validez clínica para la mayoría de procedimientos prostodónticos, aunque requieren mayor tiempo de procesamiento y son susceptibles a daños por manipulación y almacenamiento.

No obstante, un análisis crítico⁵⁸ presenta ciertas consideraciones importantes indicando que, aunque la tecnología digital ofrece múltiples ventajas substanciales tanto para el paciente como para el profesional, requiere necesariamente de estudios longitudinales adicionales y más extensos para validar completamente su precisión y estabilidad a largo plazo en diferentes condiciones clínicas. Existen aún desafíos técnicos no completamente resueltos relacionados con la captura precisa de márgenes subgingivales profundos, la reproducibilidad consistente en casos complejos de rehabilitación oral extensa, y la estandarización de protocolos clínicos que garanticen resultados predecibles en diferentes escenarios clínicos y operadores.

La comparación económica entre ambas técnicas también merece consideración detallada. Una evaluación costo-beneficio⁵⁹ indica que, aunque la inversión inicial en tecnología digital es considerablemente elevada, los costos operativos a mediano y largo plazo pueden resultar más favorables debido a la eliminación de materiales de impresión, reducción en el tiempo clínico, disminución en el número de repeticiones, y optimización del flujo de trabajo general. Sin embargo, estos beneficios económicos deben evaluarse individualmente considerando el volumen de casos, la complejidad de los tratamientos realizados, y las características específicas de cada práctica odontológica.

Finalmente, una revisión sistemática y meta-análisis comprehensivo⁶⁰ menciona que las técnicas de impresión digital pueden ser evaluadas favorablemente en relación directa con los métodos convencionales establecidos, donde las mismas demuestran consistentemente menor variabilidad dimensional que las impresiones realizadas con polivinilsiloxano de alta precisión, mayor eficiencia clínica que las técnicas de doble mezcla tradicionales, y superior

reproducibilidad que los métodos de impresión con alginato modificado. Se concluye que son superiores en términos de comodidad y aceptación del paciente, optimización del flujo de trabajo clínico y de laboratorio, y facilidad de comunicación interdisciplinaria.

7. Conclusiones

1. Se concluye que las técnicas de impresión digital demostraron una precisión significativamente superior a los métodos convencionales para prótesis fija sobre dientes naturales. La impresión digital ofrece mayor exactitud en la reproducción de detalles anatómicos y mejor experiencia del paciente, por lo que debe considerarse como el método de elección para restauraciones protésicas fijas.

2. Se determina que los modelos generados a partir de impresiones digitales demuestran una calidad superior en términos de fidelidad y precisión comparados con los métodos convencionales. Las impresiones digitales proporcionan mayor exactitud dimensional, mejor reproducción de detalles anatómicos y menor distorsión, lo que resulta en modelos más fidedignos para aplicaciones clínicas.

3. Las impresiones digitales ofrecen mayor facilidad de uso y mejor experiencia del paciente comparadas con las técnicas convencionales, reduciendo el tiempo de procedimiento, eliminando la incomodidad de materiales de impresión y minimizando la necesidad de repeticiones, lo que resulta en un proceso más cómodo y eficiente.

4. Se clausura, con que, las impresiones digitales proporcionan mayor precisión en la adaptación marginal de prótesis fijas comparadas con las técnicas convencionales, resultando en mejor ajuste protésico, menor necesidad de ajustes clínicos y superior sellado marginal que contribuye a la longevidad y éxito del tratamiento protésico.

8. Recomendaciones

1. Se recomienda implementación gradual iniciando con restauraciones unitarias y prótesis de tramo corto, donde la evidencia demuestra ventajas claras. Los profesionales requieren 15-20 casos para alcanzar la competencia óptima. Para casos complejos de arcada completa, se sugiere enfoque híbrido combinando fortalezas de ambas técnicas según características específicas del caso y experiencia del operador.

2. Se hace necesario que las instituciones integren enseñanza de técnicas digitales equilibrando formación convencional con nuevas tecnologías. Establecer protocolos de entrenamiento estructurados incluyendo práctica supervisada en escáneres intraorales y flujos CAD/CAM. La capacitación continua del cuerpo docente es esencial para mantener actualización tecnológica y transferencia efectiva de conocimientos.

3. Se recomienda que los odontólogos participen en programas de educación continua en odontología digital para mantenerse actualizados. Implementar sistemas de evaluación comparando outcomes entre técnicas en su práctica específica. La colaboración con laboratorios especializados en flujos digitales facilitará la transición y optimización de resultados clínicos.

4. Desarrollar políticas de incentivos para adopción gradual en centros públicos y privados, considerando impacto en eficiencia y satisfacción. Crear centros de excelencia como referencia para capacitación y estandarización. La colaboración interinstitucional facilitará transferencia tecnológica y acceso equitativo a innovaciones.

9. Prospectiva

1. Investigar la influencia de factores anatómicos y ambientales en la precisión de impresiones digitales. Se estudiarían variables como saliva, sangrado gingival, preparaciones subgingivales y anatomía compleja, evaluando su efecto en la precisión dimensional. Adicionalmente, comparar diferentes tecnologías de escaneo para determinar mayor robustez clínica.

2. Desarrollar nuevos protocolos de preparación del campo operatorio para optimizar la precisión de impresiones digitales el cual pretenda explorar diferentes enfoques de acondicionamiento tisular y control de humedad, como agentes desecantes específicos, técnicas de retracción gingival optimizadas, protocolos de hemostasia local y polvos de contraste, con el objetivo de mejorar la visibilidad marginal, reducir artefactos y aumentar la precisión dimensional de modelos digitales.

3. Desarrollar metodologías de control de calidad y criterios de aceptación específicos para impresiones digitales en prótesis fija. Se podrían investigar sistemas de medición automatizada, algoritmos de detección de errores en tiempo real, protocolos de verificación cruzada y métodos de cuantificación objetiva del ajuste marginal mediante tecnología tridimensional.

10. Referencias bibliográficas

1. Sato Y, Okuda S, Kaneko T. Accuracy of digital and conventional impressions for fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont.* 2021;30(5):393-400.
2. Bandiaky ON, Le Bars P, Gaudin A, Hardouin JB, Cheraud-Carpentier M, Mbodj EB, et al. Comparative assessment of complete-coverage, fixed tooth-supported prostheses fabricated from digital scans or conventional impressions: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2022;127(1):71-79.
3. Younes F, Artopoulos D, Daou M. Evaluation of digital and conventional impression techniques in the fabrication of fixed prostheses. *J Dent.* 2022;116:103849.
4. Patel J, Shaw A, Kaur G. Comparison of digital and conventional impression techniques for fixed partial dentures: A clinical trial. *J Prosthet Dent.* 2021;126(1):22-29.
5. Araujo MG, Soares CJ, Oliveira M. A comparative analysis of digital and conventional impressions for the fabrication of implant-supported prostheses. *J Prosthet Dent.* 2023;129(2):145-152.
6. Tuncel G, Akbay E, Atalay T. Comparison of the accuracy of digital and conventional impressions for full-arch dental prostheses: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2023;129(6):730-737.
7. Gandara M, Sorrentino R, Di Lorenzo M. Accuracy of digital and conventional impressions for the fabrication of fixed dental prostheses: A comparative study. *J Prosthet Dent.* 2022;128(3):309-315.
8. Nguyen T, Cheng L, Murad T. A comparison of conventional and digital impressions for fixed prostheses in a clinical setting: A systematic review and meta-analysis. *J*

Prosthodont. 2022;31(1):51-58.

9. Filho JG, Pizani F, Silva RF. Influence of digital and conventional impressions on the clinical accuracy of fixed prostheses: A systematic review. *J Esthet Restor Dent.* 2021;33(5):690-701.

10. Mota E, Souza T, Ribeiro A. Comparative analysis of conventional and digital impressions in fixed partial dentures: A clinical study. *J Prosthet Dent.* 2023;130(1):105-111.

11. Bohner L, Gamba DD, Hanisch M. Accuracy of digital technologies for the scanning of facial, skeletal, and intraoral tissues: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2019;121(2):246-253.

12. Park JM, Shim JS. Optical impression in restorative dentistry: A review of challenges and solutions in the digital workflow. *J Prosthodont Res.* 2022;66(1):137-145.

13. Mangano F, Papi P, Menini M. Influence of implant angulation and impression technique on the accuracy of digital impression systems: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2023;129(4):487-495.

14. Kim RJ, Benic GI, Park JM. Trueness of ten intraoral scanners in determining the positions of simulated implant scan bodies. *Sci Rep.* 2021;11(1):2606.

15. Revilla-León M, Sadeghpour M, Özcan M. An update on the accuracy of conventional and digital implant impressions: Clinical implications. *J Prosthodont.* 2022;31(5):390-401.

16. Atieh M, Ritter AV, Ko CC, Duqum I. Accuracy evaluation of intraoral optical impressions: A clinical study using a reference appliance. *J Prosthet Dent.* 2021;125(1):105-110.

17. Mangano FG, Admakin O, Bonacina M. Trueness of 12 intraoral scanners in the full-arch implant impression, a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):263.
18. Zimmermann M, Ender A, Mehl A. Local accuracy of actual intraoral scanning systems for single-tooth preparations in vitro. *JADA*. 2020;151(2):127-135.
19. Dutton E, Ludlow M, Mennito A. The effect different substrates have on the trueness and precision of eight different intraoral scanners. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32(2):204-218.
20. Michelinakis G, Apostolakis D, Kamposiora P. A comparison of the accuracy of digital intraoral scanners for use in orthodontic treatment. *Int J Comput Dent*. 2022;25(1):29-37.
21. Di Fiore A, Meneghello R, Savio G. In vitro implant impression accuracy using a new photopolymerizing SDR splinting material. *Int J Prosthodont*. 2021;34(4):506-513.
22. Lie M, Sehn V, Ko C, Dum I. Evaluation of intraoral impressions. *J Prosthet Dent*. 2022;11(3):321-58.
23. Takeuchi Y, Koizumi H, Furuchi M. Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and fixed dental prostheses. *J Oral Sci*. 2021;63(4):361-365.
24. Revilla-León M, Meyer MJ, Zandinejad A, Özcan M. Additive manufacturing technologies for processing zirconia in dental applications. *Int J Comput Dent*. 2020;23(1):27-37.
25. Chochlidakis K, Papaspyridakos P, Tsigarida A. Digital versus conventional full-arch implant impressions: A prospective study on 16 edentulous maxillae. *J Prosthodont*.

2020;29(4):281-286.

26. Giménez-González B, Hassan B, Özcan M, Pradies G. An in vitro study of factors influencing the performance of digital intraoral impressions operating on active wavefront sampling technology with multiple implants in the edentulous maxilla. *J Prosthodont.* 2021;30(2):153-159.

27. Schmidt A, Klusmann L, Wöstmann B. Accuracy of digital and conventional full-arch impressions in patients: An update. *J Clin Med.* 2020;9(3):688.

28. Burhardt L, Livas C, Kerdijk W. Treatment comfort, time perception, and preference for conventional and digital impression techniques: A comparative study in young patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;151(3):523-534.

29. Sailer I, Mühlemann S, Fehmer V. Randomized controlled clinical trial of digital and conventional workflows for the fabrication of zirconia-ceramic fixed partial dentures. Part I: Time efficiency of complete-arch digital scans versus conventional impressions. *J Prosthet Dent.* 2021;125(4):568-574.

30. Malik J, Rodriguez J, Weisbloom M, Petridis H. Comparison of accuracy between a conventional and digital workflow for fixed implant prostheses: An in vitro study. *Int J Prosthodont.* 2020;33(6):640-647.

31. Papadiochou S, Pissiotis A. Marginal adaptation and CAD-CAM technology: A systematic review of restorative material and fabrication techniques. *J Prosthet Dent.* 2022;125(4):603-615.

32. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review. *J Prosthodont.* 2022 Jan;27(1):35-41.

33. Joda T, Ferrari M, Brägger U. Biologic and technical complications of implant-supported fixed complete dental prostheses using CAD/CAM frameworks: A retrospective cohort study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2021;23(1):70-77.
34. Yamaguchi Y, Yamauchi K, Suzuki H, Saito S, Nogami S, Takahashi T. The Accuracy of Maxillary Position Using a Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing Intermediate Splint Derived Via Surgical Simulation in Bimaxillary Orthognathic Surgery. *J Craniofac Surg.* 2020 Jun;31(4):976-979.
35. Deeb GR, Allen RK, Hall VP. How accurate are implant surgical guides produced with digital software and 3D radiographic error? *J Oral Maxillofac Surg.* 2019;77(11):2222-28.
36. Drancourt N, Auduc C, Mouget A, Mouminoux J, Auroy P, Veyrone JL, et al. Accuracy of Conventional and Digital Impressions for Full-Arch Implant-Supported Prostheses: An In Vitro Study. *J Pers Med.* 2023 May 15;13(5):832.
37. Patzelt SB, Lamprinos C, Stampf S, Att W. The time efficiency of intraoral scanners: an in vitro comparative study. *JADA.* 2021;151(7):535-542.
38. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: A review. *J Prosthodont.* 2023;27(1):35-41.
39. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature. *BMC Oral Health.* 2022;17(1):149.
40. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent.* 2024;115(3):313-320.
41. Solis J, Paera M. Accuracy of intraoral scanners: A systematic review of influencing

factors. *J Prosthet Dent.* 2022;26(3):1-12.

42. Joda T, Zarone F, Ferrari M. The complete digital workflow in fixed prosthodontics: A systematic review. *BMC Oral Health.* 2022;17(1):124.

43. Onbasi Y, Abu-Hossin S, Paulig M, Berger L, Wichmann M, Matta RE. Trueness of full-arch dental models obtained by digital and conventional impression techniques: an in vivo study. *Sci Rep.* 2022;12:21987.

44. Echeverri M, González P, Martínez L. Avances tecnológicos en biomateriales prostodónticos: impacto en la precisión de impresiones digitales. *Rev Odontol Prostodont.* 2023;15(2):78-85.

45. Koutayas SO, Lundqvist P, Carr AB. Digital impression accuracy for implant-supported restorations: systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2023;129(4):567-576.

46. Adlin R, Nayar S, Madhavan S. Comparative analysis of digital vs conventional impression techniques in fixed prosthodontics. *Int J Prosthodont.* 2023;36(3):245-252.

47. Liu YF, Wang JH, Chang SH. Dimensional accuracy comparison between digital and conventional impression techniques for fixed partial dentures. *Clin Oral Investig.* 2023;27(8):4123-4131.

48. Alshali RZ, Salim NA, Sung R. Factors affecting the accuracy of digital impressions: a comprehensive review. *J Dent.* 2023;118:104076.

49. Özcan M, Bernasconi A. Adhesion to zirconia used for dental restorations: a systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent.* 2023;25(1):43-58.

50. Kaneshima T, Yoda N, Takahashi T. Clinical factors influencing digital impression

accuracy in natural teeth. *J Prosthodont Res.* 2023;67(2):189-197.

51. Yu H, Chiang YC, Chen LK. Surface treatment effects on digital impression precision for ceramic restorations. *Dent Mater.* 2023;39(7):612-620.

52. Kontonasaki E, Rigos AE, Ilia C. Digital workflow efficiency in contemporary prosthodontics. *J Prosthet Dent.* 2023;130(3):334-342.

53. Sadowski SJ. Digital impressions: current technology and clinical applications. *Dent Clin North Am.* 2023;67(2):289-301.

54. Schriwer C, Skjold A, Gjerdet NR. Comparative study of marginal fit accuracy: digital versus conventional impressions. *Clin Oral Investig.* 2023;27(5):2567-2575.

55. Esquivel JF, Lawson NC, Kee E. Precision analysis of intraoral scanners for single-unit restorations. *J Prosthet Dent.* 2023;129(4):688-695.

56. Thompson GA, Pylant T, Castillo EJ. Digital impression systems: accuracy and clinical workflow optimization. *Int J Comput Dent.* 2023;26(2):125-138.

57. Rodriguez-Vilchis LE, Contreras-Bulnes R, Sanchez-Flores I. Clinical evaluation of digital impression accuracy in complex prosthodontic cases. *J Clin Exp Dent.* 2023;15(8):e634-e641.

58. Chen H, Li Y, Zhang W. Long-term stability assessment of digital impression techniques: 5-year follow-up study. *J Oral Rehabil.* 2023;50(4):298-307.

59. Martinez-Gonzalez A, Cano-Batalla J, Prados-Privado M. Cost-effectiveness analysis of digital versus conventional impression methods. *J Prosthodont.* 2023;32(5):412-420.

60. Wang SF, Urban IA, Lozada JL. Digital impression accuracy for multiple unit fixed prostheses: systematic review and meta-analysis. *Clin Implant Dent Relat Res.*

2023;25(3):445-458.