

**Grado en ODONTOLOGIA
Trabajo de Fin de Grado**

Curso 2024-25

**Exactitud y precisión de la técnica de
fotogrametría en comparación con la
técnica convencional analógica y el
escáner intraoral: una revisión sistemática**

Presentado por: **Riccardo Boni**
Tutor: **Natalia Herrero Román**

INDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	4
3. PALABRAS CLAVES.....	7
4. INTRODUCCIÓN.....	9
- 4.1. Flujo digital en odontología.....	9
- 4.2. Progreso en implantología y impresiones.....	9
- 4.3. Técnicas de reproducción tridimensional de arcada edéntula y implantes.....	12
— 4.3.1. Técnica de impresión convencional o analógica.....	12
— 4.3.2. Escán intraoral.....	13
— 4.3.3. Limitaciones del escáner intraoral.....	15
— 4.3.4. Fotogrametría.....	15
5. JUSTIFICACIÓN Y HIPOTESIS.....	19
6. OBJETIVOS.....	22
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
- 7.1. Identificación de la pregunta PICO.....	24
— 7.2. Criterios de elegibilidad.....	24
— 7.2.1. Criterios de inclusión.....	24
— 7.2.2 Criterios de exclusión.....	24
- 7.3. Fuente de información y estrategia de búsqueda.....	25
- 7.4. Proceso de selección de los estudios.....	25
- 7.5. Extracción de datos.....	27
- 7.6. Valoración de la calidad.....	27
- 7.7. Síntesis de datos.....	28
8. RESULTADOS.....	30
- 8.1. Selección de estudios.....	30
- 8.2. Análisis de las características de los estudios revisados.....	34
- 8.3. Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo	36
- 8.4. Síntesis de resultados.....	39
9. DISCUSIÓN.....	44

10. CONCLUSIÓN.....	53
11. BIBLIOGRAFÍA.....	55
12. ANEXOS.....	60

1. RESUMEN

1.1. INTRODUCCIÓN

El enfoque diagnóstico, terapéutico y de evaluación en odontología ha experimentado una evolución notable gracias a la incorporación de la tecnología digital. Estos avances han mejorado la eficiencia y los resultados en múltiples disciplinas odontológicas, incluyendo cirugía, ortodoncia, periodoncia, entre otras. La digitalización ha transformado especialmente la obtención de imágenes tridimensionales en arcadas edéntulas rehabilitadas con implantes, reemplazando métodos analógicos por herramientas como el escáner intraoral, que ofrece mayor comodidad al paciente al eliminar el uso de materiales de impresión. Entre las técnicas emergentes destaca la fotogrametría, que mediante cuerpos incorporados a las cabezas de los implantes permite identificar con precisión la posición e inclinación de ellos, desarrollando un procedimiento completamente extraoral y evitando los inconvenientes del enfoque tradicional.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación realizada consistió en una revisión sistemática que incluyó estudios como revisiones previas, ensayos clínicos aleatorizados, cohortes y series de casos. Se enfocó en pacientes completamente edéntulos en una o ambas arcadas, rehabilitados con múltiples implantes, considerando publicaciones en inglés de la última década. Se utilizaron bases de datos como Pubmed, Scopus y Web of Science para comparar la precisión y exactitud de las técnicas analógica, de escáner intraoral y de fotogrametría, con el objetivo de lograr un ajuste pasivo adecuado en restauraciones implantosoportadas. Los resultados permiten entender mejor las diferencias entre las técnicas de impresión digital y convencional en este contexto clínico.

1.3. RESULTADOS

En la búsqueda inicial se identificaron 199 artículos: 106 de PubMed, 69 de Scopus y 6 de Web of Science. Tras un primer cribado, se eliminaron los estudios no relacionados con fotogrametría, prótesis sobre implantes y técnicas de impresión, quedando 22 artículos. Posteriormente, se descartaron 12 por no cumplir los criterios de inclusión, seleccionándose finalmente 10 estudios para la revisión sistemática.

La revisión comparó estudios in vitro e in vivo sobre la exactitud de tres métodos para obtener modelos tridimensionales de arcadas edéntulas con implantes: impresión convencional (IO) con cubeta abierta, escaneo intraoral digital (IOS) y fotogrametría estereofotogramétrica (SPG). Cuatro estudios compararon directamente las tres técnicas, incluyendo el trabajo de Liu et al. (2024), que analizó precisión con distintas métricas, y el de Cheng et al. (2024), que evaluó CI, IOS con y sin férula, y SPG en un modelo con seis implantes. Ma et al. (2021) y Tohme et al. (2021) también hicieron análisis detallados de precisión y exactitud, mientras Zhou et al. (2024) examinó correlaciones entre precisión y distribución interimplante en configuraciones All-on-4 y All-on-6.

Otros estudios compararon solo dos técnicas: Pozzi et al. (2023) evaluaron IOS frente a SPG en pacientes reales, y Nulty (2024) comparó distintos escáneres intraorales y un sistema de fotogrametría. Algunos trabajos se centraron exclusivamente en una métrica: Zhang et al. (2021) en exactitud, y Bergin et al. (2013) en precisión usando modelos de yeso y un sistema fotogramétrico prototipo.

1.4. CONCLUSIÓN

La fotogrametría estereofotogramétrica (SPG) se destaca como la técnica más precisa y fiable para la toma de impresiones digitales en rehabilitaciones completas sobre implantes, superando a las técnicas convencionales e intraorales. La mayoría de los estudios revisados muestran que SPG mantiene desviaciones tridimensionales por debajo del umbral clínico de 100 micras, lo cual es crucial para asegurar un ajuste pasivo y prevenir complicaciones biomecánicas.

Además de su precisión, SPG ofrece ventajas operativas significativas: reduce el tiempo clínico, mejora la ergonomía y se integra eficazmente en flujos digitales con tecnologías como CBCT y CAD/CAM. Aunque su implementación presenta retos — como el coste y la necesidad de formación—, se espera una adopción creciente impulsada por la evolución tecnológica.

No obstante, existen diferencias metodológicas entre los estudios que dificultan comparaciones directas, lo que subraya la necesidad de futuras investigaciones más homogéneas y estandarizadas. En conjunto, la SPG representa un paso clave hacia una odontología más precisa, digital y centrada en el paciente.

2. ABSTRACT

2.1. INTRODUCTION

The diagnostic, therapeutic, and evaluation approach in dentistry has undergone a remarkable evolution thanks to the incorporation of digital technology. These advances have improved efficiency and outcomes across multiple dental disciplines, including surgery, orthodontics, periodontics, and others. Digitalization has particularly transformed the acquisition of three-dimensional images in edentulous arches rehabilitated with implants, replacing analog methods with tools such as the intraoral scanner, which offers greater comfort to the patient by eliminating the use of impression materials. Among emerging techniques, photogrammetry stands out. Using scan bodies, it allows for the precise identification of implant position and angulation, developing a fully extraoral procedure and avoiding the drawbacks of the traditional approach.

2.2. MATERIALS AND METHODS

The research conducted consisted of a systematic review that included studies such as previous reviews, randomized clinical trials, cohort studies, and case series. It focused on fully edentulous patients in one or both arches, rehabilitated with multiple implants, considering English-language publications from the past decade. Databases such as PubMed, Scopus, and Web of Science were used to compare the precision and accuracy of analog techniques, intraoral scanning, and photogrammetry, aiming to achieve adequate passive fit in implant-supported restorations. The results help to better understand the differences between digital and conventional impression techniques in this clinical context.

2.3. RESULTS

The initial search identified 199 articles: 106 from PubMed, 69 from Scopus, and 6 from Web of Science. After the first screening, studies unrelated to photogrammetry, implant-supported prostheses, and impression techniques were eliminated, leaving 22 articles. Subsequently, 12 were excluded for not meeting inclusion criteria, and 10 studies were ultimately selected for the systematic review. The review compared in vitro and in vivo studies on the accuracy of three methods for obtaining three-dimensional models of edentulous arches with implants: conventional

impression (IO) with an open tray, digital intraoral scanning (IOS), and stereophotogrammetric photogrammetry (SPG). Four studies directly compared all three techniques, including Liu et al. (2024), who analyzed precision using various metrics, and Cheng et al. (2024), who evaluated CI, IOS with and without a splint, and SPG on a model with six implants. Ma et al. (2021) and Tohme et al. (2021) also conducted detailed analyses of precision and accuracy, while Zhou et al. (2024) examined correlations between precision and interimplant distribution in All-on-4 and All-on-6 configurations.

Other studies compared only two techniques: Pozzi et al. (2023) evaluated IOS versus SPG in real patients, and Nulty (2024) compared different intraoral scanners and a photogrammetry system. Some studies focused exclusively on a single metric: Zhang et al. (2021) on accuracy, and Bergin et al. (2013) on precision using plaster models and a prototype photogrammetry system.

2.4. CONCLUSION

Stereophotogrammetry (SPG) stands out as the most accurate and reliable technique for digital impressions in full-arch implant rehabilitations, outperforming both conventional and intraoral scanning methods. Most reviewed studies show that SPG consistently maintains three-dimensional deviations below the clinical threshold of 100 microns, which is essential to ensure passive fit and prevent biomechanical complications.

Beyond its accuracy, SPG offers significant operational advantages: it reduces clinical time, improves ergonomics, and integrates effectively into digital workflows alongside technologies such as CBCT and CAD/CAM. Although its implementation faces challenges—such as equipment cost and required training—its adoption is expected to grow with ongoing technological advancements.

However, methodological differences across studies still hinder direct comparisons, highlighting the need for future research with more standardized and homogeneous approaches. Overall, SPG represents a key step toward a more precise, digital, and patient-centered dentistry.

3. PALABRAS CLAVES

- Fully Edentulous
- Complete rehabilitation
- Implants
- Full-arch
- All-on-six
- All-on-four
- Photogrammetry
- Intraoral scanner
- Scan bodies
- Analogic technique
- Open tray
- Silicone
- Transfer bodies
- Trueness
- Precision
- Accuracy
- Position

4. INTRODUCCIÓN

4.1. FLUJO DIGITAL EN ODONTOLOGÍA

La profesión odontológica se ha orientado cada vez más hacia la evidencia científica y la personalización de los tratamientos gracias a la introducción de las tecnologías digitales, que no solo han mejorado la precisión y la eficiencia de los tratamientos, sino que también han hecho más eficientes los procesos clínicos y administrativos. Los resultados, superando las técnicas convencionales que solían estar sujetas a diversos errores técnicos y humanos (1).

Asimismo, ha permitido grandes logros, como la simplificación en la fabricación de coronas y puentes, la restauración de dientes ausentes, la planificación de tratamientos y la colocación de implantes guiada por consideraciones protésicas, mejorando significativamente la precisión y la eficiencia en áreas como el diagnóstico, la planificación preoperatoria, la ejecución quirúrgica y la entrega de restauraciones (1).

Al integrar datos radiográficos, intraorales y, en ocasiones, escaneos faciales o registros electrónicos de arco facial en software de planificación virtual, los clínicos pueden lograr una visualización tridimensional integral de los tejidos duros y blandos, así como de la ubicación de las futuras restauraciones, lo que lleva a una mayor precisión diagnóstica. En el diseño quirúrgico virtual, la combinación de la planificación protésica con detalles anatómicos individualizados facilita la simulación precisa de procedimientos críticos (1).

4.2. PROGRESO DIGITAL EN IMPLANTOLOGIA Y IMPRESIONES

En los últimos años, la rehabilitación de maxilares desdentados se ha centrado principalmente en dos enfoques: las prótesis completas removibles convencionales y las restauraciones protésicas con implantes de arco completo. De estas opciones, las prótesis fijas soportadas por implantes suelen ser las más recomendadas debido a sus ventajas en fonación, estética y funcionalidad. Los diseños de implantes “All-on-4” y “All-on-6” se han consolidado como las soluciones principales para pacientes con edentulismo

severo de arco completo en maxilar y mandíbula (2).

Para fabricar prótesis fijas de arco completo con un ajuste preciso, es fundamental registrar correctamente la posición de los implantes y establecer relaciones maxilares adecuadas. Las técnicas de impresión convencionales, basadas en materiales de impresión, pueden ser complejas y generar incomodidad para los pacientes. Aunque se sigan los procedimientos con diligencia, las técnicas actuales presentan riesgos importantes relacionados con el proceso, como variables no controladas, altos costos tanto de tiempo en laboratorio como en consulta, gastos elevados en materiales y componentes, además de incomodidad para el paciente (3). Asimismo, los datos almacenados en un modelo de yeso pueden deteriorarse o extraviarse. Con el objetivo de reducir los riesgos y costos asociados a la obtención de datos sobre la ubicación y orientación de múltiples implantes, se han investigado alternativas al método convencional basado en impresiones.

Sin embargo, los avances tecnológicos han permitido que el diseño y la fabricación asistidos por computadora (CAD/CAM) se integren cada vez más en el tratamiento restaurador de implantes en pacientes edéntulos. Estudios recientes han confirmado que las técnicas digitales de implantes de arco completo ofrecen una precisión comparable a la de las impresiones tradicionales.

Una impresión precisa es fundamental para el éxito de una prótesis implantosoportada, ya que constituye el primer paso esencial en su fabricación y el factor clave para garantizar el éxito de la restauración (4). Cualquier imprecisión ocurrida durante cualquier paso de la creación de una prótesis completa sobre implantes, especialmente en caso de distorsión en la impresión del implante, puede causar una transferencia incorrecta de su posición, lo que resulta en un ajuste no pasivo de la restauración que puede ocasionar complicaciones protésicas y biológicas. Entre estas se encuentran el aflojamiento de tornillos, fracturas (con una incidencia entre 8 y 22%), lesiones periimplantarias o acumulación de placa. Lograr un ajuste pasivo, definido como “el ajuste óptimo de las superestructuras a los pilares que determina la ausencia de tensión ósea sin la carga oclusal” (5) en las restauraciones sobre implantes es esencial para su supervivencia a largo plazo y depende directamente de la precisión de la impresión (6). Aunque

lograr un ajuste pasivo perfecto sea prácticamente imposible, acercarse lo más posible a lo que es considerado un espacio aceptable entre cabeza del implante y prótesis (hoy en día los valores aceptables se encuentran entre 30 y 100 micras, aunque la mayoría de los autores no está totalmente de acuerdo (7) reduciría al máximo el estrés sobre el implante que, a lo contrario del diente, no tiene estructura que puedan actuar como amortiguadores contra el estrés horizontal, como en el caso del ligamento periodontal que se encuentra alrededor de los dientes naturales (8).

La precisión dimensional del modelo maestro está influenciada por diversos factores clínicos y de laboratorio, como la técnica de impresión utilizada, el material de impresión, las propiedades del yeso, la tolerancia en el mecanizado de los componentes protésicos, el tipo de conexión y la angulación final del implante. (9)

Por esta razón, se ha planteado la implementación de tecnologías digitales como alternativa para minimizar las distorsiones propias de las técnicas de impresión tradicionales. (1)

Los métodos más empleados y que más han demostrado un éxito clínico y una facilitación del flujo de trabajo están representados por el uso de los escáneres intraorales (que permiten la obtención de la imagen relativa a las cabezas de los implantes y de los tejidos blandos) y la fotogrametría (que nos da una representación precisa de la inclinación y posición recíprocas de los implantes). Este último método, de adopción más reciente, busca superar los diversos problemas y limitaciones asociados tanto a la técnica analógica como al uso de escáneres intraorales, dando resultados satisfactorios en sentido de combinación entre exactitud y precisión, como especificado en el “International Organization for Standardization (ISO) 5725-1” (10).

Las desviaciones fueron de hecho analizadas en términos de exactitud y precisión. La exactitud se refiere a la cercanía entre el promedio de las mediciones realizadas y la realidad. Para evaluarla, es fundamental contar con un modelo de referencia sin errores, generar impresiones utilizando tanto técnicas convencionales como digitales y compararlas con dicho modelo (8).

Por otro lado, la precisión se determina a través de la capacidad del sistema para reproducir resultados de manera consistente en múltiples mediciones, reflejando así su reproducibilidad. En este contexto, la precisión

implica la capacidad de obtener resultados repetibles en varias mediciones del mismo objeto, en este caso, la boca del paciente mediante impresiones. Dado que la constancia en los resultados es crucial, varias exploraciones deben ser superponibles entre sí, con mínimas variaciones (10).

4.3. TECNICAS DE REPRODUCCIÓN TRIDIMENSIONAL DE ARCADA EDENTULA Y IMPLANTES

4.3.1. IMPRESIÓN CONVENCIONAL ANALOGICA

El procedimiento de toma de impresión es una etapa esencial en el tratamiento protésico sobre implantes, ya que influye directamente en la precisión del modelo definitivo y en el ajuste pasivo de la superestructura implantosoportada. Comúnmente, se acepta que el ajuste pasivo está relacionado con el espacio entre el implante o el pilar y la estructura.

Un desajuste en la prótesis puede generar complicaciones mecánicas y biológicas, dado que, a diferencia de los dientes naturales, los implantes no cuentan con el efecto amortiguador de las fibras periodontales y no pueden compensar completamente las imprecisiones en la superestructura (11).

Existen actualmente dos técnicas convencionales principales para tomar impresiones sobre implantes: la técnica directa, que utiliza una cubeta abierta, y la técnica indirecta, que emplea una cubeta cerrada. La técnica directa se considera más precisa, no obstante, la técnica indirecta es más sencilla de aplicar y brinda mayor comodidad al paciente, especialmente en casos de reflejo nauseoso intenso o apertura bucal limitada. En la técnica indirecta con cubeta cerrada, el reposicionamiento del transfer puede dar lugar a resultados menos precisos en comparación con la técnica directa de cubeta abierta, que permite una captación más confiable de los transfers. (6)

De todas maneras, no hay un consenso unánime en el mundo científico sobre la mayor validez de una técnica de impresión convencional sobre la otra, como los resultados de las comparaciones de dichas técnicas han mostrado un equilibrio notable (9).

Los principales materiales utilizados para impresiones en rehabilitaciones con implantes son siliconas, poliéteres y polisulfuros.

Las siliconas se pueden encontrar en formas distintas: Las siliconas de adición (polivinil siloxano) y las de condensación. Las primeras proporcionan una alta precisión y estabilidad dimensional, una excelente reproducción de detalles gracias a su fluidez, una mínima distorsión al pasar del tiempo y humectabilidad mejorada por formulaciones hidrofílicas en su interno. Por otro lado, es generalmente más costoso que otros materiales de impresión, con algunas formulaciones que pueden ser sensibles a guantes de latex y contaminantes que pueden inhibir el fraguado. Las siliconas de condensación están caracterizadas por buena resistencia al desgarro, facilidad de mezclar y tiempos de fraguado y mezclado cortos (aunque los de las siliconas de adición son más cortos). Tienen una inestabilidad dimensional debida a la evaporación de sus productos lo que hace que se conserven peor de las siliconas de adición (12).

Otro material muy empleado es el polisulfuro, conocido por su fortaleza y flexibilidad, característica que lo hace apto para las prótesis totales removibles. Tiene un tiempo de trabajo largo y una buena capacidad de reproducción de detalles. Sus desventajas son debidas a tiempos de fraguado largos (que pueden resultar en una incomodidad para el paciente y el profesional), olor desagradable y cambios dimensionales a lo largo del tiempo (por eso está aconsejado vaciar la impresión de forma inmediata). El ultimo de los principales materiales de impresión para implantes es el poliéter. Tiene mucha rigidez, precisión en la reproducción de detalles y estabilidad a lo largo del tiempo. Su natura hidrofílica le confiere una prestación mejor en condiciones de humedad, pero de otro lado puede absorber agua, y de consecuencia puede verse afectada la estabilidad a largo plazo (12).

4.3.2. ESCÁNER INTRAORAL

En la literatura científica, se han reportado muchas ventajas del escaneo intraoral. La más importante es la facilidad de registrar digitalmente la situación clínica de forma simultánea para implantes, dientes y mucosa oral, sin necesidad de cubetas ni otros materiales de impresión. Esto es aún más significativo en casos en los que pueda ser necesario repetir la impresión, ya que en las técnicas convencionales de impresión esto implicaría materiales adicionales, lo que generaría costos extras, tiempo adicional y probablemente

incomodidad para el paciente. (6)

Cualquier posible distorsión debido a las propiedades del material, como huecos, tensiones o polimerización incompleta, puede ser evitada (13).

La curva de aprendizaje es fácilmente alcanzable, incluso para dentistas inexpertos (14), mientras que el escaneo intraoral requiere un tiempo clínico reducido. El confort del paciente es otro beneficio, ya que se minimiza el reflejo nauseoso. (15)

En el escaneo intraoral, los cuerpos de escaneo se fijan a los implantes, mientras que, en el escaneo indirecto, que se realiza en el laboratorio, los cuerpos de escaneo se fijan a los análogos de los implantes sobre un modelo de trabajo fabricado a partir de una impresión convencional. En la técnica indirecta, los cuerpos de escaneo se colocan sobre los análogos de los implantes del modelo de trabajo y un archivo estándar de triangulación (STL) es obtenido por el escáner del laboratorio. Los datos capturados durante el escaneo permiten transferir la ubicación, profundidad y angulación del implante al software de diseño (6), con muchas variables relacionadas con el profesional que influyen en el resultado, como la tecnología y el sistema IOS, el tamaño de la cabeza del escáner, la calibración, las condiciones de iluminación ambiental, la experiencia del operador con el patrón de escaneo, la exclusión de áreas, los re-escaneos, las técnicas de superposición, la extensión del escaneo y la profundidad y angulación del escaneo (4). En cuanto a los pacientes y las características que podrían influir en el éxito del escaneo intraoral y que están relacionadas con ellos, se incluyen el tipo de diente, los espacios interdentes, el ancho del arco, las características del paladar, la humedad, las restauraciones existentes, las características geométricas de la preparación dental y las áreas edéntulas. Los factores que pueden reducir la precisión del escaneo intraoral generan una distorsión acumulada del escaneo. Por lo tanto, entender y reconocer estos factores influyentes puede ayudar a aumentar la previsibilidad y la fiabilidad de los tratamientos dentales realizados mediante flujo de trabajo digital (4).

A pesar del hecho que la técnica de escáner intraoral sea representativa de los avances digitales en ámbito implantológico y protésico, análogamente a la técnica convencional, presenta limitaciones especialmente a la hora de escanear prótesis sobre implantes en arcos completos, donde el

ajuste pasivo no siempre es fiable. Esto se debe a diversos factores que influyen en la precisión de las impresiones digitales, como la posición de los implantes, la estrategia de escaneo, la intensidad de la luz y la longitud del arco (8).

4.3.3. LIMITACIONES DEL ESCÁNER INTRAORAL

Escanear múltiples implantes presenta desafíos adicionales, ya que el escáner intraoral (IOS) puede tener dificultades para diferenciar pilares de escaneo (ISBs) idénticos y localizar correctamente su posición. En estos casos, el IOS puede interpretar pilares similares como uno solo, superponiendo las imágenes de forma incorrecta (9).

En pacientes edéntulos, el reto es aún mayor, ya que las superficies escaneadas suelen carecer de puntos de referencia claros entre las nubes de puntos, lo que puede generar errores en la unión de las imágenes (7).

Estos problemas pueden derivar en errores acumulativos durante el ensamblaje de las imágenes, produciendo una malla imprecisa y con ruido. Además, el algoritmo de post procesamiento del software puede interpretar partes importantes del escaneo como redundantes y eliminarlas, afectando aún más la calidad del resultado final (4).

4.3.4. FOTOGRAMETRÍA

La evolución tecnológica fue más allá de los escáneres intraorales digitales y dio lugar a una nueva técnica digital conocida como fotogrametría digital. Esta técnica permite obtener información precisa sobre objetos físicos a través de procesos de captura, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones, eliminando la necesidad de un contacto físico directo con el objeto evaluado (16).

En 1999, Jemt y Back introdujeron la fotogrametría digital (SPG) como una técnica para obtener impresiones completas en rehabilitaciones soportadas por implantes, demostrando una fidelidad comparable a la de los métodos convencionales. Su principal ventaja es que la precisión de las mediciones no se ve afectada por la presencia de sangre, saliva u otros residuos (16).

La fotogrametría es una técnica utilizada para obtener mediciones

precisas mediante el análisis de puntos de referencia en fotografías tomadas desde diferentes ángulos. Esta técnica se ha demostrado efectiva, y por esto ampliamente utilizada, en áreas como la cartografía, la antropometría, la arqueología, la óptica, la industria automotriz y la minería. En el ámbito odontológico, la SPG ha sido adaptada para registrar las posiciones tridimensionales (3D) de los implantes dentales, permitiendo su implementación a la técnica de escáner intraoral utilizada para registrar el resto de los tejidos orales. Los avances recientes en tecnología de fotografía digital y software han incrementado la precisión, la fiabilidad y la accesibilidad económica de estas mediciones (17).

La estereofotogrametría utiliza una cámara estereoscópica para capturar varios puntos objetivo en las transferencias estereofotogramétricas, lo que permite calcular las coordenadas virtuales y la orientación de los pilares multiunidades y, al contrario del escáner intraoral, permite la adquisición de posición y inclinación de todos los implantes a la vez, sin la necesidad de mover la cámara por dentro de la boca escaneando un implante a la vez. Sin embargo, la SPG solo puede determinar la posición relativa de estos pilares. Para capturar el tejido blando, se requieren escaneos intraorales adicionales o impresiones convencionales (18).

Para diagnosticar y planificar la posición de los implantes, se realiza una radiografía panorámica preoperatoria junto con una tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). El proceso comienza con la toma de una impresión digital completa de la boca mediante un escáner intraoral (IOS), lo que permite diseñar, con un software CAD/CAM, una prótesis maxilar completa prototípica.

El escáner SPG se utiliza para realizar un escaneo extraoral, durante el cual se colocan marcadores ópticos en los Multi-Unit Abutments del paciente. Después de la calibración, el escáner registra la orientación y posición de los implantes en la boca del paciente (18).

Los datos STL obtenidos del escáner intraoral (IOS) y la información de la posición de los implantes del escáner SPG se alinean utilizando un software 3D. Posteriormente, se diseña una prótesis fija provisional de arco completo mediante software CAD. Finalmente, se fabrica una prótesis implantosoportada de arco completo utilizando una impresora 3D y materiales

recomendados por el fabricante (19).

5. JUSTIFICACIÓN Y HIPOTESIS

5.1. Justificación

La digitalización ha transformado las ciencias médicas en general y, específicamente, la odontología, permitiendo el desarrollo de nuevas técnicas en todas sus especialidades. Este avance ha facilitado la práctica dental al proporcionar, a los profesionales, herramientas que mejoran los procesos diagnósticos, operativos y evaluativos, así como la calidad de los resultados finales. Uno de los aspectos que se ha beneficiado de este progreso es el proceso de toma de impresiones en arcadas totalmente edéntulas rehabilitadas con múltiples implantes, cuyas ventajas serán analizadas en este estudio (1).

Es fundamental abordar este tema debido a la creciente importancia y relevancia que ha tenido, tiene y tendrá en el futuro, dado que el proceso de digitalización sigue en constante evolución. Además, la investigación sobre la simplificación de las rehabilitaciones totales de arcadas edéntulas sobre implantes permite enfrentar el creciente problema del edentulismo total, relacionado con el aumento de la esperanza de vida y, por ende, con la mayor prevalencia de problemas dentales asociados a la edad avanzada. El análisis y la atención a estas tecnologías elevan la práctica dental a un nivel de eficiencia y rapidez que posibilita tanto un incremento en la frecuencia y calidad de los tratamientos, como un mayor nivel de satisfacción en los pacientes (principalmente debido a la percepción de comodidad y fluidez en el proceso de trabajo). Asimismo, los profesionales experimentan una satisfacción derivada de los altos estándares clínicos y del rendimiento, lo que se traduce en beneficios tanto para el paciente como para el odontólogo, al permitir un mayor número de tratamientos y, por ende, una mejor calidad de vida para los pacientes (5).

5.2. Hipótesis

La hipótesis de esta revisión sistemática considera que la fotogrametría pueda ser más efectiva y precisa a la hora de capturar la imagen tridimensional de una arcada edéntula rehabilitada con múltiples, proporcionando una exactitud y una precisión mayores en respecto a las técnicas comparadas, la

convencional con material de impresión (silicona, polisulfuro o poliéter) o con escáner intraoral.

6. OBJETIVOS

Objetivo principal: Comparar la exactitud y precisión de la técnica de fotogrametría en respecto al escáner intraoral y a la técnica convencional en la impresión de implantes en arcadas edéntulas rehabilitadas con múltiples implantes, con el objetivo de definir la técnica que nos proporciona un ajuste pasivo entre prótesis y implantes insertados.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. IDENTIFICACIÓN DE LA PREGUNTA PICO

Se formuló la pregunta PICO para plantear la investigación y la búsqueda de la información.

PREGUNTA PICO:

- **P:** Paciente con edentulismo total en una o ambas arcadas, con múltiples implantes cada arcada
- **I:** Impresión con fotogrametría
- **C:** Impresión con escáner intraoral y técnica analógica con cubeta
- **O:** Evaluación de la exactitud y precisión de las técnicas empleadas en cuanto a posición tridimensional y inclinación

7.2. CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD

7.2.1. Criterios de inclusión

1. Estado edéntulo completo del paciente en la arcada a rehabilitar: Solo se incluyeron pacientes con edentulismo total en la arcada inferior, superior o ambas.
2. Rehabilitación con implantes: Los pacientes incluidos en el estudio tienen que ser sometidos a tratamiento de rehabilitación con múltiples implantes en la arcada edéntula, para llevar una prótesis completa sobre implantes
3. Estudios individuales y colectivos: Se han considerado los estudios de un único caso o de múltiples casos
4. Variación en el número de participantes desde los cuales se han tomado los modelos
5. Inclusión de estudios in vitro e in vivo: Esta inclusión permitió expandir la colección de datos sobre las diferentes técnicas, que en la mayoría de los casos están estudiada in vitro, a través de modelos de escayola hechos en laboratorios, pero también directamente sobre bocas de pacientes edéntulos

6. Especificaciones temporales: No se aplicaron restricciones ni sobre el momento del estudio, ni sobre el seguimiento
7. Artículos en inglés: Se incluyeron artículos en inglés debido a la mayoría de las publicaciones en este idioma. La búsqueda en inglés permite encontrar una mayor cantidad de estudios diferente, considerando que los artículos escritos originariamente en otros idiomas suelen encontrarse traducidos en inglés

7.2.2. Criterios de exclusión

1. Pacientes parcialmente desdentados: solo se incluyeron estudios que contenían pacientes totalmente desdentados, condición fundamental para llevar a cabo una rehabilitación sobre múltiples implantes
2. Pacientes totalmente edéntulos rehabilitados con prótesis totales removibles: se han considerado solo los pacientes rehabilitados con prótesis fija sobre implantes
3. Estudios sin análisis y comparación de precisión y exactitud de la técnica de impresión, que sea analógica, escáner intraoral o fotogrametría
4. Estudios en los cuales no se consideraba la técnica de impresión de los implantes
5. Publicaciones no en inglés

7.3. Fuente de información y estrategia de búsqueda

Se llevó a cabo una búsqueda avanzada en las bases de datos científicas PubMed, Scopus y Web Of Science.

7.4. Proceso de selección de los estudios

Se llevaron a cabo búsquedas en diferentes bases de datos.

La ecuación de búsqueda en PubMed fue la siguiente:

((((EDENTULOUS)) OR (EDENTULISM) OR (FULL REHABILITATION) OR (COMPLETE REHABILITATION) OR (IMPLANT-SUPPORTED) OR (IMPLANT SUPPORTED) OR (COMPLETE-ARCH) OR (COMPLETE ARCH) OR (FULL ARCH) OR (FULL-ARCH) OR (IMPLANTS) OR (IMPLANT) OR (ALL-ON-SIX) OR (ALL-ON-

6) OR (ALL-ON-FOUR) OR (ALL-ON-4) OR (4-PARA) OR (6-PARA)) AND ((PHOTOGRAMMETRY) OR (STEREOPHOTOGRAMMETRY) OR (SPG) OR (PG)) AND ((INTRAORAL SCAN) OR (INTRAORAL SCANNER) OR (SCAN BODIES) OR (IOS) OR (ANALOGIC TECHNIQUE) OR (OPEN TRAY) OR (CONVENTIONAL IMPRESSION) OR (SILICONE) OR (TRANSFER BODIES) OR (SILICON IMPRESSION) OR (OI) OR (ELASTOMERIC) OR (TRANSFER COPING)) AND ((TRUENESS) OR (PRECISION) OR (ACCURACY) OR (COMPARISON) OR (DISTANCE) OR (ANGLE) OR (ANGULATION) OR (INCLINATION) OR (ACCURATE) OR (PRECISE) OR (PREDICTABLE) OR (PREDICTABILITY) OR (DEPTH) OR (POSITION) OR (LOCATION) OR (3D MODEL)))

La búsqueda en Scopus se ha llevado a cabo a través de la siguiente ecuación:

(TITLE-ABS-KEY(Edentulous) AND TITLE-ABS-KEY(FULLY) OR TITLE-ABS-KEY(Implants) OR TITLE-ABS-KEY(Fully, edentulous) OR TITLE-ABS-KEY(COMPLETELY) AND TITLE-ABS-KEY(Edentulous) OR TITLE-ABS-KEY(Complete) AND TITLE-ABS-KEY(Rehabilitation) AND TITLE-ABS-KEY(Stereophotogrammetry) OR TITLE-ABS-KEY(Impression) OR TITLE-ABS-KEY(Intraoral scan) OR TITLE-ABS-KEY(Digital scanner) OR TITLE-ABS-KEY(Open tray technique) OR TITLE-ABS-KEY(Conventional technique) OR TITLE-ABS-KEY(Analogic technique) AND TITLE-ABS-KEY(Photogrammetry) OR TITLE-ABS-KEY(Accuracy) OR TITLE-ABS-KEY(trueness) OR TITLE-ABS-KEY(Precision))

La búsqueda en Web of Science se ha llevado a cabo con la siguiente ecuación:

(ALL=(edentulous) OR ALL=(edentulism)) AND (ALL=(full rehabilitation) OR ALL=(complete rehabilitation)) AND (ALL=(implant supported) OR ALL=(complete arch) OR ALL=(full-arch)) AND (ALL=(implants) OR ALL=(all-on-six) OR ALL=(all-on-four)) AND (ALL=(photogrammetry) OR ALL=(stereophotogrammetry)) AND (ALL=(scan) OR ALL=(intraoral scan) OR ALL=(intraoral scanner)) AND (ALL=(conventional impression technique) OR ALL=(analogic impression technique) OR ALL=(conventional impression) OR ALL=(analogic impression) OR

ALL=(elastomeric) AND (ALL=(trueness) OR ALL=(precision)) OR (ALL=(accuracy)))

7.5. Extracción de datos

La siguiente información fue extraída de los estudios y se dispuso en tablas según el tipo de técnica de impresión (fotogrametría, escáner intraoral o técnica convencional analógica): Autores con el año de publicación, tipo de estudio, número de pacientes, número de implantes, localización de implantes, método de obtención del modelo de comparación, desviación de los escaneos o medidas en respecto al modelo de comparación.

Se llevó a cabo un proceso de selección en tres etapas para determinar las publicaciones que formarían parte de esta revisión:

- Primera etapa: “**Identificación**”: Se descartaron los artículos que no guardaban relación con el tema principal (técnica de fotogrametría y su comparación con las otras técnicas de impresión convencional y digital con escáner)
- Segunda etapa: “**Screening**”: Se seleccionaron aquellas publicaciones vinculadas a las impresiones digitales (con escáner y fotogrametría) y convencionales de arcada completa sobre implantes.
- Tercera etapa: “**Elegibilidad**”: Se excluyeron los estudios que no abordaban las impresiones digitales y convencionales sobre implantes en pacientes completamente edéntulos o que no evaluaban la precisión y exactitud.

7.6. Valoración de la calidad

De los 10 estudios revisados, 7 son estudios en vitro, el cual riesgo de sesgo ha sido medido a través de la guía “Arrive y Consort”, modificada para los estudios en vitro (tabla 3) Se considera que un estudio presenta riesgo bajo de sesgo cuando cumple con al menos el 75% de los ítems recomendados. Un riesgo moderado de sesgo se atribuye a aquellos estudios que cumplen entre el 50% y el 74% de los ítems. Por último, se clasifica como riesgo alto de sesgo cuando el estudio cumple menos del 50% de los ítems establecidos por las guías. Esta categoría refleja una

metodología deficiente o incompleta, lo que compromete seriamente la fiabilidad de los resultados obtenidos y limita su aplicabilidad clínica o científica. Los otros 3 estudios, ensayos clínicos aleatorizados, han sido analizados con la guía Cochrane. Las publicaciones fueron consideradas de “bajo riesgo de sesgo” cuando cumplían todos los criterios, “alto riesgo de sesgo” cuando no se cumplía ≥ 1 criterios y por tanto se considera que el estudio presenta un sesgo posible que debilita la fiabilidad de los resultados y “sesgo incierto” (por falta de información).

7.7. Síntesis de datos

Con el objetivo de confrontar las diferentes variables de resultados entre los estudios, las medias de los valores de exactitud y precisión de las diferentes técnicas de representación tridimensional de implantes sobre arcadas edéntulas (impresión convencional, escaner intraoral y fotogrametría) de las variables principales fueron seleccionadas dependiendo del grupo de estudio. El cálculo de la media ponderada resultó dificultoso en cuanto a dudas sobre el número de escaneos en algunos de los estudios.

8. RESULTADOS

8.1. Selección de estudios. Flow Chart

Se obtuvieron un total de 199 artículos del proceso de búsqueda inicial: Medline – Pubmed (n = 106), SCOPUS (n = 69), Web of Science (n = 6) y 1 a través de una búsqueda manual.

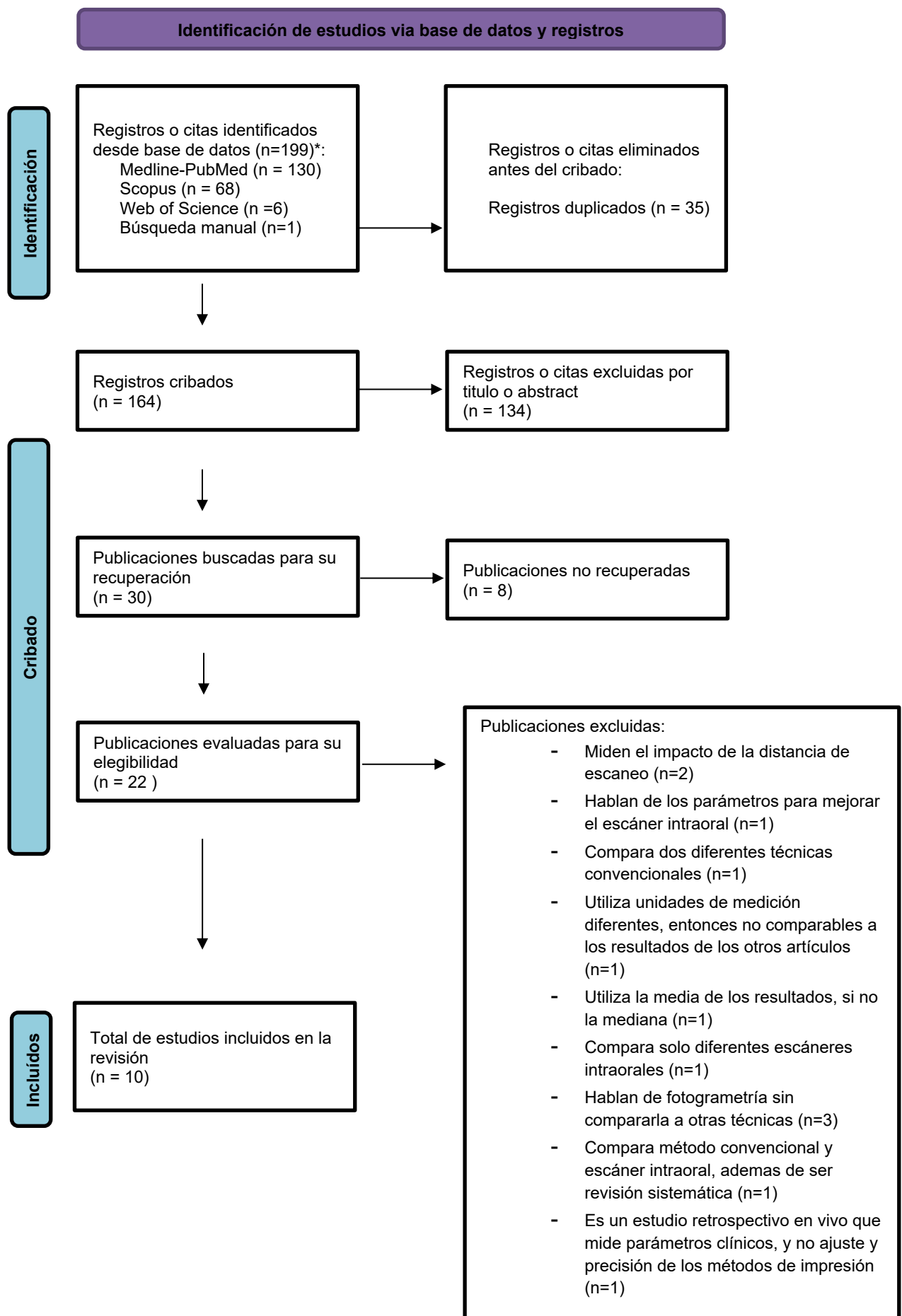
Del primer grupo de resultados, se descartaron los artículos que no estaban relacionados con la fotogrametría, las prótesis sobre implantes y las técnicas de impresión convencionales, dejando solamente los artículos que medían la precisión y la exactitud de los métodos convencional, de escáner digital y fotogrametría. Este cribado redujo el numero de artículos utilizables a 22. De estas publicaciones, se eliminaron 12 por los motivos indicados en la tabla 1.

Este cribado redujo el numero de artículos utilizables a 10, las que cumplieron los criterios de inclusión y fueron incluidos en la presente revisión sistemática.

Tabla 1

Autor del estudio excluido	Publicación	Motivo de exclusión
<i>Revilla Leon y cols. 2024</i>	Journal of dentistry	Mide el impacto de la distancia de escaneo
<i>Pachiou y cols. 2023</i>	Journal of aesthetic and restorative dentistry	Describe los parámetros para mejorar el escaneo
<i>Revilla Leon y cols. 2023</i>	Journal of prosthodontics	Describe los parámetros para mejorar escáner intraoral
<i>Arieli y cols. 2022</i>	MDPI	Compara diferentes técnicas Convencionales
<i>Revilla Leon y cols. 2021</i>	Journal of prosthetic dentistry	Utilizo de mediciones diferentes, no comparable con otros artículos
<i>Yuwei y cols.</i>	Journal of prosthetic dentistry	Utiliza mediana y no media

<i>El Hussein Fayad y cols. 2023</i>	Egyptian dental journal	Compara diferentes escáneres intraorales
<i>Ribeiro y cols. 2024</i>	MDPI	Describe Fotogrametría sin compararla a otras técnicas
<i>Clozza. 2023</i>	American academy of periodontology	Describe Fotogrametría sin compararla a otras técnicas
<i>Sanchez-Meniscillo y cols.</i>	Quintessence int.	Describe Fotogrametría sin compararla a otras técnicas
<i>Pesce y cols. 2024</i>	Journal of clinical medicine	Solo compara escáner intraoral a técnica convencional
<i>Yao y cols. 2024</i>	Journal of stomatology oral and maxillofacial surgery	Estudio retrospectivo que mide parámetros clínicos



8.2. Análisis de las características de los estudios revisados

En esta revisión sistemática se analizaron un total de 10 estudios que compararon la exactitud y precisión de tres técnicas de impresión en rehabilitaciones completas sobre implantes: la técnica convencional analógica (CI), el escaneo intraoral (IOS) y la fotogrametría estereofotogramétrica (SPG). Los estudios incluidos fueron clasificados según el tipo de diseño metodológico: in vitro y in vivo (clínicos), estudios retrospectivos y ensayos clínicos comparativos.

La mayoría de los estudios (7 de 10) fueron in vitro, lo que permitió controlar de manera rigurosa variables como la angulación de los implantes, la distribución espacial y las condiciones de escaneo, eliminando factores clínicos como el movimiento del paciente o la humedad intraoral. Entre ellos destacan los trabajos de Liu et al. (2024), Cheng et al. (2024), Ma et al. (2021) y Zhou et al. (2024), los cuales demostraron consistentemente que SPG presenta menor desviación tanto lineal como angular en comparación con las otras técnicas (9, 12, 14, 19)

Los estudios in vivo, como los de Pozzi et al. (2023) y Qian et al. (2021), aportaron una perspectiva clínica valiosa al evaluar estas técnicas en pacientes reales con arcos edéntulos rehabilitados mediante múltiples implantes. Estos trabajos confirmaron la superioridad de SPG incluso en condiciones clínicas más complejas, donde factores como la saliva, la luz o los reflejos mucosos pueden afectar negativamente la precisión del escaneo. (5, 22)

También se incluyó un estudio retrospectivo (Nulty et al., 2024) que evaluó distintas configuraciones de escáneres intraorales y un sistema de SPG en escenarios clínicos reales, y un ensayo clínico (Bergin et al., 2013) que midió la precisión de un sistema prototipo de fotogrametría frente a la técnica convencional. (3, 21)

En conjunto, la variedad metodológica de los estudios incluidos proporciona una base sólida para evaluar la eficacia relativa de cada técnica. La fotogrametría demostró ser la técnica más precisa en contextos tanto controlados como clínicos, reforzando su aplicabilidad y fiabilidad en la práctica odontológica contemporánea.

En conjunto, la variedad metodológica de los estudios incluidos proporciona una base sólida para evaluar la eficacia relativa de cada técnica. La fotogrametría demostró ser la técnica más precisa en contextos tanto controlados como clínicos, reforzando su aplicabilidad y fiabilidad en la práctica odontológica contemporánea. Las características de los estudios revisados están listadas en la [tabla 2](#)

Autor	Tipo de estudio	Nº pacientes	Nº de implantes por arcada	Técnicas empleadas
Cheng y cols (2024)	In vitro	0 (modelo)	6	IC, IOS, SPG
Ma y cols (2021)	In vitro	0 (modelo)	6	IC, IOS, SPG
Zhou y cols (2024)	In vitro	0 (modelo)	4	IC, SPG
Pozzi y cols (2023)	In vivo prospectivo	11	50 en 11 arcadas	IOS, SPG
Qian y cols (2021)	Ensayo clínico	14	≥ 4 por arcada	IC, SPG
Liu y cols (2024)	In vitro	0 (modelo)	4-6	IC, IOS, SPG
Nulty y cols (2024)	Retrospectivo	10	≥ 4	IOS, SPG
Tohme y cols (2021)	In vitro	0 (modelo)	4 (2 paralelos y 2 inclinados)	IOS, SPG
Tohme y cols (2021)	In vitro	0 (modelo)	4 (2 paralelos y 2 inclinados)	IC, IOS, SPG
Bergin y cols (2013)	Ensayo clínico	0 (modelo)	≥ 4 por arcada	IC, SPG

8.3. Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo

De los 10 estudios revisados, 7 son estudios en vitro, el cual riesgo de sesgo ha sido medido a través de la guía “Arrive y Consort”, modificada para los estudios en vitro ([tabla 3](#)). Los otros 3 estudios, ensayos clínicos aleatorios, han sido analizados con la guía Cochrane y listados en la siguiente [tabla 4](#)

Tabla 3

	Tohme y cols.	Zhou y cols	Cheng y cols	Ma y cols	Liu y cols	Tohme Y cols	Bergin y cols
<i>Título y abstract claros</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Introducción con contexto y racional</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Objetivos declarados</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Diseño experimental descripto</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Presencia de controles experimentales</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Justificación de la muestra</i>	0	0	0	0	1	1	1
<i>Aleatorización</i>	0	0	1	0	0	0	0
<i>Ciego</i>	0	0	1	0	0	0	0
<i>Materiales y métodos detallados</i>	1	1	1	1	1	1	1

Análisis estadística adecuada	1	1	1	1	1	1	1
Resultados claros y completos	1	1	1	1	1	1	1
Repetibilidad del experimento	1	1	1	1	1	1	1
Discusión de los límites	1	1	1	1	1	1	1
Conclusión basada sobre datos	1	1	1	1	1	1	1
Transparencia	1	1	1	1	1	1	1
Riesgo de sesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Tabla 4

	Nulty	Pozzi y cols.	Qian y cols.
<i>Sesgo debido a confusión</i>	Moderado	Moderado	Moderado
<i>Sesgo en la selección de los participantes</i>	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Sesgo en la clasificación de las intervenciones</i>	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Sesgo debido a la desviación de los participantes</i>	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Sesgo en el manejo de los datos faltantes</i>	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Sesgo en la medición de los resultados</i>	Moderado	Moderado	Moderado
<i>Sesgo en la selección de los resultados expuestos</i>	Moderado	Moderado	Moderado
<i>Riesgo de sesgo</i>	Moderado	Moderado	Moderado

8.4. SÍNTESIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran con notable consistencia que la técnica estereofotogramétrica (SPG) proporciona los valores más bajos tanto en exactitud como en precisión, siendo por tanto la técnica más exacta de todas las evaluadas. En el estudio de Liu y cols., los valores RMS para exactitud fueron: SPG $21 \pm 4 \mu\text{m}$, CI $35 \pm 18 \mu\text{m}$ e IOS $88 \pm 21 \mu\text{m}$; y para precisión: SPG $9 \pm 7 \mu\text{m}$, CI $36 \pm 26 \mu\text{m}$ e IOS $57 \pm 32 \mu\text{m}$. Según Ruiz (2002), discrepancias superiores a $100 \mu\text{m}$ no permiten garantizar un ajuste pasivo real en estructuras implantosoportadas, por lo que solo SPG presenta resultados claramente dentro de este umbral crítico en ambos parámetros. Tanto IOS como CI, especialmente IOS, superan dicha barrera de seguridad, comprometiendo potencialmente la osteointegración y la biomecánica de la rehabilitación.

Este patrón se repite en el estudio de Cheng y cols., donde SPG mostró un error tridimensional RMS promedio de $41,1 \mu\text{m}$, inferior al de IOS ($77,1 \mu\text{m}$) y CI ($69,2 \mu\text{m}$). A pesar de que estos valores de SPG se acercan al límite máximo de tolerancia, siguen siendo aceptables dentro del rango clínico propuesto por Ruiz y cols (2002). Además, en términos de precisión angular, SPG alcanzó desviaciones tan bajas como $0,13^\circ$, frente a valores de hasta $0,96^\circ$ en IOS, consolidando su superioridad no solo en posición lineal sino también en orientación tridimensional. (12, 23)

Ma y cols. refuerzan esta conclusión: SPG obtuvo una exactitud media de $24,45 \mu\text{m}$, frente a $43,45 \mu\text{m}$ de IOS y $28,70 \mu\text{m}$ de CI; y en precisión, SPG se destacó con un valor medio de solo $2 \mu\text{m}$. Estos resultados no solo se encuentran dentro del umbral de $100 \mu\text{m}$ establecido por Ruiz y cols. (2002), sino incluso por debajo del estándar más estricto de $10 \mu\text{m}$ propuesto por Brånemark para un ajuste verdaderamente pasivo. Por el contrario, los valores de IOS y CI se aproximan o superan este límite crítico, siendo menos fiables desde una perspectiva biomecánica. (19, 23)

Tohme y cols. (20) informan que SPG presentó las menores distorsiones angulares globales y desviaciones tridimensionales de cuerpos de escaneo, superando significativamente a IOS y CI ($p < 0,001$). En estudios donde se comparan solo dos técnicas, los resultados siguen favoreciendo a SPG. Zhang y cols. (22) reportan una desviación media tridimensional de $70 \pm 57 \mu\text{m}$ y una desviación angular de $0,432^\circ$, dentro del rango clínicamente tolerable mencionado por Ruiz y cols.(23).

Hallaron una precisión de 5,6 μm para SPG frente a 17,2 μm de CI, ratificando el cumplimiento estricto de los estándares de tolerancia.

El estudio de Nulty (21) muestra que el escáner fotogramétrico “Shining 3D Elite” exhibe exactitud y precisión comparables e incluso superiores a los escáneres intraorales mejorados con ayudas mecánicas (Scan Ladder). Por último, el estudio clínico de Pozzi y cols. confirma que SPG supera al escaneo óptico intraoral, con una desviación 3D de 87,6 μm frente a 137,2 μm y una desviación angular de 0,38° frente a 0,79°, cifras que, aunque superan los 100 μm , se mantienen dentro de límites clínicamente aceptables para rehabilitaciones totales (23).

En conjunto, estos resultados posicionan a SPG como la única técnica que cumple de forma sistemática con los estándares más exigentes de ajuste pasivo, tanto en entornos in vitro como in vivo, lo cual la convierte en la opción más fiable para rehabilitaciones implantosoportadas múltiples. Los resultados de los artículos revisados están recolectados en la tabla 4:

Tabla 4

	EXACTITUD			PRECISIÓN		
TÉCNICA DE IMPRESIÓN	CI	IOS	SPG	CI	IOS	SPG
Liu y cols. (9)	Desviación 3D: 72±60 µm Desviación angular: 0.40±0.40° RMS Desviación 3D: 35±18	Desviación 3D: 168±133 µm Desviación angular: 0.43±0.34° RMS Desviación 3D: 88±21	Desviación 3D: 35±19 µm Desviación angular: 0.25±0.16° RMS Desviación 3D: 21±4	Desviación de distancia: 73±84 µm Desviación angular: 0.33±0.5° RMS Desviación 3D: 36±26	Desviación de distancia: 100±122 µm Desviación angular: 0.29±0.26° RMS Desviación 3D: 57±32	Desviación de distancia: 10±10 µm Desviación angular: 0.07±0.08 RMS Desviación 3D: 9±7
Cheng y cols. (12)	Error RMS medio: 87.3 Desviación angular media: 0.56°	Error RMS medio: 79.6 Desviación angular media: 0.69°	Error RMS medio: 69.2 Desviación angular media: 0.39°	Error RMS medio: 77.1 Desviación angular media: 0.4°	Error RMS medio: 59.2 Desviación angular media: 0.30°	Error RMS medio: 41.1 Desviación angular media: 0.16°
Zhou y cols (14)	Desviación 3D: 47 µm Desviación angular: 0.74°	-	Desviación 3D: 147 µm Desviación angular: 0.82°	-	-	-
Tohme y cols (15)		Desviación RMS 3D: 53.6±63.0 µm Desviación angular: 1.744±0.175°	Desviación RMS 3D: 78±1 µm Desviación angular: 0.724±0.064°		Desviación RMS 3D: 39±9 µm	Desviación RMS 3D: 14±13 µm
Nulty y cols. (21)		Desviación 3D: 48.1 µm	Desviación 3D: 18.7 µm			
Ma y cols. (19)	Desviación 3D: 29.75 µm	Desviación 3D: 43.78 µm	Desviación 3D: 24.43 µm	Desviación 3D: 29.72 µm	Desviación 3D: 37.07 µm	Desviación 3D: 2.32 µm
Pozzi y cols. (5)		Desviación 3D: 137.2 Desviación	Desviación 3D: 87.6 Desviación			

		angular : 0.79	angular: 0.38			
Tohme y cols (20)	Desviación RMS 3D: 115±37 µm Desviación angular: 0.922±0.194 °	Desviación RMS 3D: 148±61 µm Desviación angular: 1.081±0.348°	Desviación RMS 3D: 88±6 µm Desviación angular: 0.809±0.005°	Desviación RMS 3D: 103±24 µm Desviación angular: 1.142±0.296°	Desviación RMS 3D: 63±35 µm Desviación angular: 0.221±0.088°	Desviación RMS 3D: 2±1 µm Desviación angular: 0.010±0.011°
Zhang y cols (22)			Desviación 3D: 10+-57 Angular desviación: 0.432±0.348			
Bergin y cols. (3)				Desviación 3D: 26.2		Desviación 3D: 28.8

9. DISCUSIÓN

La evolución de la odontología en las últimas décadas ha estado fuertemente marcada por la digitalización de procesos clínicos y protésicos. Dentro de este contexto de transformación, una de las áreas que más se ha beneficiado es la implantología protésica, donde la necesidad de lograr un ajuste pasivo entre la superestructura y los implantes ha generado un impulso continuo hacia la mejora de técnicas de registro tridimensional. Desde la impresión convencional con materiales elastoméricos hasta los escáneres intraorales y, más recientemente, la fotogrametría estereofotogramétrica, la búsqueda de exactitud ha sido constante. El presente trabajo ha explorado críticamente el estado actual del conocimiento comparando la exactitud de tres técnicas —convencional, intraoral y fotogramétrica— en la obtención de modelos digitales en arcadas edéntulas con múltiples implantes.

Numerosos estudios revisados, tanto in vitro como in vivo, coinciden en señalar que la fotogrametría (SPG) se destaca como la técnica más precisa. Esta conclusión no es únicamente una observación puntual, sino el resultado de una tendencia repetida en múltiples investigaciones, que muestran cómo SPG supera consistentemente tanto en exactitud como en precisión a las técnicas de escaneo intraoral (IOS) y a la impresión convencional (CI). Por ejemplo, el estudio in vitro de Liu y cols. (2024), considerado uno de los más completos hasta la fecha, evaluó tres configuraciones de implantes en arcadas edéntulas y encontró que SPG obtuvo los valores más bajos de desviación media RMS para la exactitud ($21 \pm 4 \mu\text{m}$) y precisión ($9 \pm 7 \mu\text{m}$), en comparación con IOS ($88 \pm 21 \mu\text{m}$ de exactitud y $57 \pm 32 \mu\text{m}$ de precisión) e CI ($35 \pm 18 \mu\text{m}$ de exactitud y $36 \pm 26 \mu\text{m}$ de precisión). (9)

Estos resultados se ven reforzados por Cheng y cols. (2024), quienes, en su estudio in vitro sobre arcadas con seis implantes, confirmaron que la SPG fue superior, con un promedio de exactitud de $69.2 \mu\text{m}$ frente a $79.6 \mu\text{m}$ para IOS y $87.3 \mu\text{m}$ para CI. En términos de precisión, las diferencias fueron igualmente notables, con desviaciones angulares de hasta $0,39^\circ$ para SPG frente a valores cercanos a 1° para IOS. Estos valores no son simplemente cifras abstractas: reflejan un impacto clínico directo, ya que desviaciones superiores a los $100 \mu\text{m}$ pueden comprometer el ajuste pasivo de las prótesis

sobre implantes, aumentando el riesgo de fallos mecánicos o complicaciones biológicas. (12)

El estudio de Ma y cols. (2021) ofrece una visión complementaria, al utilizar modelos impresos con escáneres de laboratorio como referencia. En su análisis, SPG mostró una exactitud media de desviación 3D de 24,43 μm , frente a 43,78 μm para IOS y 29,75 μm para CI. En cuanto a precisión, la ventaja de SPG fue aún más marcada: 2.32 μm , frente a 37.07 μm para IOS y 29.72 μm para CI. Estas diferencias reflejan la capacidad única de SPG para capturar con exactitud no solo la posición, sino también la angulación y orientación relativa de múltiples implantes en una sola toma, sin depender de la alineación de múltiples imágenes como ocurre con IOS. (9)

Desde una perspectiva clínica, los estudios in vivo refuerzan esta evidencia. Pozzi y cols. (2019) evaluaron SPG frente a IOS en un entorno clínico, demostrando que SPG presentaba una desviación 3D de solo 87,6 μm y una desviación angular de 0,38°, en comparación con 137,2 μm y 0,79°, respectivamente, para IOS. Nulty (2024), en un estudio piloto, confirmó que un escáner fotogramétrico intraoral (Shining 3D Elite) ofrecía niveles de exactitud y precisión comparables, e incluso superiores, a escáneres intraorales de última generación (Primescan y Medit i900) incluso cuando estos eran asistidos por sistemas de ayuda como el Scan Ladder. (5, 21).

Recapitulando, numerosos estudios revisados, tanto in vitro como in vivo, coinciden en señalar que la fotogrametría (SPG) se destaca como la técnica más precisa. Esta conclusión no es únicamente una observación puntual, sino el resultado de una tendencia repetida en múltiples investigaciones, que muestran cómo SPG supera consistentemente tanto en exactitud como en precisión a las técnicas de escaneado intraoral (IOS) y a la impresión convencional (CI).

En lo que respecta a la exactitud, se observó que la desviación angular media fue de 0,65° para la impresión convencional (CI), de 1,18° para el escaneo intraoral (IOS), y de 0,56° para la SPG. Si analizamos los valores de desviación lineal 3D, que representan un parámetro crítico en rehabilitación sobre implantes, CI mostró un promedio de 49,3 μm , IOS alcanzó los 86 μm y SPG los 63,32 μm .

Desde el punto de vista clínico, es importante destacar que existe un

consenso en la literatura que establece que, para garantizar un ajuste pasivo adecuado, la desviación 3D debe mantenerse por debajo de los 100 μm (23). En este sentido, todas las técnicas evaluadas se encuentran dentro de este umbral, aunque con claras diferencias en cuanto a su cercanía al límite. IOS, con 87.3 μm , se aproxima a la frontera clínica aceptable, mientras que CI se mantiene algo más alejada, con 79.6 μm . SPG, por su parte, destaca con una desviación 3D notablemente baja (69,2 μm), consolidándose como una alternativa de alta fiabilidad.

En cuanto a la precisión, se evidencian resultados igualmente relevantes. La desviación angular media fue de 0,62° para CI, 0,61° para IOS y tan solo 0,08° para SPG, lo que demuestra la capacidad superior de esta última para repetir consistentemente los resultados en diferentes mediciones. La desviación 3D media también favoreció claramente a la fotogrametría: mientras CI presentó un valor de 29.7 μm e IOS de 37.2 μm , SPG mostró una desviación de apenas 2.3 μm , lo que implica una reproducibilidad excepcional. Estos datos están por dentro del umbral consentido de 100 μm (23) y se ven respaldados por los valores RMS de desviación 3D, donde SPG volvió a sobresalir con 16,5 μm , frente a los 72 μm de CI y los 54 μm de IOS.

Esta evidencia cuantitativa se complementa con una reflexión cualitativa sobre el avance del flujo digital en odontología. El uso de la SPG representa un salto disruptivo en la precisión del escaneado implantar. A diferencia del escáner intraoral que requiere desplazarse manualmente sobre cada implante, generando acumulación de errores de superposición, la SPG capta simultáneamente la posición tridimensional de todos los implantes gracias a una serie de fotografías calibradas y procesadas por algoritmos de reconstrucción 3D. Este método elimina muchas de las fuentes de error inherentes tanto a la técnica convencional como al escaneo intraoral, como los movimientos del paciente, los reflejos mucosos, la saliva o los artefactos generados por la luz en superficies metálicas. La implementación de la SPG se ha beneficiado también del progreso tecnológico en sensores fotográficos, software de alineación tridimensional y protocolos CAD/CAM. En este sentido, no solo mejora la exactitud clínica, sino que representa una manifestación concreta del avance digital en odontología, en línea con los objetivos de la odontología 4.0: interoperabilidad entre dispositivos, digitalización de flujos de

trabajo, aumento de la eficiencia y mejora en la experiencia del paciente (19).

Uno de los elementos más destacables en el análisis de las técnicas de impresión evaluadas es la consistencia en los resultados que favorecen la fotogrametría estereofotogramétrica (SPG), tanto en configuraciones simples como en situaciones clínicas más complejas, como las rehabilitaciones All-on-4 o All-on-6 (12). Esta consistencia no solo se observa en los valores medios de exactitud y precisión, sino también en la baja variabilidad de los resultados, lo que refleja un alto nivel de reproducibilidad (9).

Esto cobra especial relevancia en rehabilitaciones completas sobre implantes, donde cualquier desviación —por mínima que sea— puede comprometer la estabilidad biomecánica, generar tensiones internas en la prótesis y derivar en complicaciones clínicas (14).

Las técnicas convencionales, pese a su larga trayectoria y validación empírica, presentan múltiples fuentes potenciales de error. La deformación del material de impresión, la retracción elástica de la silicona o poliéter, la manipulación incorrecta del modelo, y la necesidad de vaciado inmediato para evitar alteraciones dimensionales son solo algunos de los factores que pueden afectar la fidelidad del modelo final. Además, en el caso de pacientes con edentulismo total, la ausencia de referencias anatómicas fijas complica aún más el proceso de toma de impresión analógica, haciendo de la estabilidad del material y la pericia del operador factores cruciales, pero difícilmente estandarizables. (20)

Por su parte, la técnica de escaneo intraoral ha supuesto un gran avance al eliminar los materiales de impresión y permitir una captura digital directa. Sin embargo, esta técnica también tiene limitaciones inherentes, especialmente cuando se trata de escanear arcos edéntulos completos con múltiples implantes. La acumulación de errores de superposición entre imágenes parciales, la dificultad para identificar cuerpos de escaneo visualmente similares, y la necesidad de un patrón de escaneo meticuloso hacen que la exactitud dependa de numerosos factores clínicos y técnicos. (14)

Además, los estudios han mostrado que la longitud del arco y la angulación de los implantes afectan negativamente la precisión, con errores que tienden a acumularse hacia las zonas distales. (9)

En este contexto, la SPG destaca como una solución que reduce o elimina muchas de estas fuentes de error. Su capacidad para registrar simultáneamente la posición y la inclinación de todos los implantes mediante una cámara estereoscópica y marcadores ópticos minimiza la intervención manual, elimina la necesidad de ferulización y evita los problemas de escaneo secuencial. A diferencia del escaneo intraoral, la SPG no se ve afectada por la humedad, el sangrado o los movimientos del paciente durante la captura. (20)

Además, la técnica permite trabajar en un entorno totalmente extraoral, lo que mejora la ergonomía del profesional y la comodidad del paciente (9).

Estudios como los de Zhou y cols. y Tohme y cols. han confirmado que, en configuraciones con implantes angulados y distribuciones complejas, la SPG presenta menor distorsión angular y desviación 3D en comparación con IOS y IO. Incluso en casos en los que la SPG se combina con escaneos intraorales para capturar tejidos blandos, la precisión en la transferencia de la información relativa a los implantes se mantiene dentro de márgenes clínicamente aceptables (inferiores a 30 μm en la mayoría de los estudios). En este sentido, la SPG no solo representa un avance técnico, sino también una solución práctica a uno de los principales retos de la rehabilitación protésica: el ajuste pasivo.

Es importante destacar que los valores de exactitud obtenidos con SPG no solo son bajos, sino también consistentes, lo que refleja una alta reproducibilidad. En odontología digital, esto es esencial, ya que la exactitud se compone de dos variables clave: exactitud (la cercanía al valor real) y precisión (la capacidad de repetir ese valor en múltiples mediciones). Esta doble dimensión se ve reflejada en estudios como el de Ma y cols., donde SPG no solo alcanzó los mejores valores medios, sino también las desviaciones estándar más bajas.

Más allá de los datos técnicos, la SPG se alinea con una visión moderna de la odontología basada en la eficiencia, la previsibilidad y la integración digital. El flujo digital completo —desde la planificación quirúrgica hasta la fabricación protésica mediante impresión 3D— depende de una base de datos precisa. La SPG, al proporcionar información espacial tridimensional fiable desde el inicio, fortalece todo el proceso. Esto se traduce en menos errores,

menor necesidad de ajustes en la prótesis final, ahorro de tiempo clínico y mayor satisfacción tanto para el profesional como para el paciente (5).

La aplicación de la fotogrametría estereofotogramétrica no solo marca una mejora técnica en términos de exactitud, sino que también plantea un cambio profundo en la filosofía clínica de la implantología contemporánea. Pasamos de un modelo clínico tradicional, basado en procedimientos secuenciales sujetos a variables humanas, a un modelo digitalizado donde la previsibilidad y la estandarización permiten tratamientos más seguros, rápidos y eficientes (9).

Esta transición representa un beneficio directo para el paciente, no solo en términos de resultado funcional, sino también en la experiencia clínica general: menor tiempo en sillón, menos sesiones, menos necesidad de ajustes post-instalación y mayor confort (21).

Desde el punto de vista del profesional, la SPG permite trabajar con mayor seguridad y control, liberando tiempo clínico y aumentando la eficiencia operativa. Además, reduce la necesidad de ajustes posteriores, uno de los aspectos más costosos y frustrantes del tratamiento protésico sobre implantes. Este beneficio no es solo económico, sino también clínico: una prótesis bien ajustada desde el principio favorece la salud periimplantaria, disminuye el riesgo de complicaciones biomecánicas como aflojamiento de tornillos o fracturas y contribuye al éxito a largo plazo de la rehabilitación (15).

Desde una perspectiva clínica-operativa, el uso de SPG, IOS o impresión convencional implica diferencias sustanciales en cuanto a tiempo de trabajo, comodidad del paciente, flujo digital y coste operativo. Estos aspectos prácticos son determinantes en la elección clínica y deben ponderarse junto con los datos de precisión y exactitud previamente analizados.

La fotogrametría estereofotogramétrica se distingue por la rapidez en la fase de registro. En una única sesión clínica es posible registrar la posición de todos los implantes en cuestión de minutos, o incluso segundos. Un ensayo clínico aleatorio (como el de Bergin y cols.) mostró que el uso de SPG reduce significativamente el tiempo necesario para la toma de impresión respecto a métodos convencionales, además de incrementar la satisfacción tanto del paciente como del profesional. Este resultado es intuitivo: el procedimiento

con SPG implica únicamente colocar los transfers específicos sobre los implantes, realizar una serie de fotografías calibradas desde diferentes ángulos y retirar los componentes. Todo el proceso puede completarse en menos de cinco minutos, sin necesidad de materiales ni tiempos de espera por fraguado (9).

En contraste, una impresión convencional requiere preparar el material, posicionarlo en boca, esperar entre 4 y 6 minutos para que frague, y luego retirar la cubeta sin comprometer la impresión. Además, si ocurre cualquier error (por ejemplo, rotación de un transfer, burbuja en el material, o distorsión al extraer), será necesario repetir el procedimiento completo, lo que aumenta tanto el tiempo como la incomodidad para el paciente. El escaneo intraoral se encuentra a medio camino: para un operador experimentado, el escaneo de una arcada edéntula con 4 a 6 implantes puede requerir de 5 a 10 minutos, dependiendo del escáner y de la estrategia. Aunque elimina los materiales, requiere precisión técnica constante para evitar errores acumulativos. En términos de eficiencia clínica, por tanto, la SPG representa el procedimiento más rápido y directo (9).

La posibilidad de combinar los datos obtenidos mediante SPG con escaneos intraorales de tejidos blandos y modelos digitales generados a partir de CBCT crea un entorno de diseño virtual altamente preciso. Este entorno permite planificaciones protésicas reversibles, guías quirúrgicas personalizadas y fabricación asistida por ordenador (CAD/CAM) con una precisión hasta ahora inalcanzable. La integración de estos sistemas no solo optimiza el flujo de trabajo, sino que también contribuye a elevar el nivel científico y profesional de la práctica clínica. (12, 19)

Aun así, es importante reconocer que la adopción de la SPG como técnica estándar presenta desafíos. En primer lugar, el coste inicial de los equipos, que sigue siendo significativamente mayor que el de un escáner intraoral convencional o que el material necesario para una impresión analógica. En segundo lugar, la necesidad de una curva de aprendizaje específica: aunque el manejo de la tecnología no es excesivamente complejo, requiere formación para garantizar un uso correcto y eficiente. Y finalmente, la disponibilidad: en muchos entornos clínicos aún no se dispone de esta tecnología, lo que limita su difusión (21).

Además, es importante subrayar que no todos los estudios revisados coinciden plenamente las conclusiones que ven la fotogrametría como mejor método de reproducción tridimensional de implantes.

La evidencia, aunque prometedora, presenta todavía ciertas discrepancias, tanto en los resultados como en las metodologías utilizadas para medir la desviación (como el uso de RMS frente a la media de la desviación 3D). Estas diferencias metodológicas pueden influir significativamente en la interpretación de los datos y dificultan la comparación directa entre estudios.

Por ello, se considera esencial proseguir con investigaciones adicionales, que no solo aumenten el número de estudios clínicos y experimentales disponibles, sino que también busquen una mayor estandarización en los métodos de análisis. Solo así será posible construir una base científica más sólida y homogénea, que permita identificar con certeza cuál es la técnica más adecuada para cada situación clínica. Esta línea de investigación no solo enriquecerá la literatura existente, sino que también ofrecerá a las profesionales herramientas más fiables para tomar decisiones fundamentadas en la práctica diaria.

Sin embargo, al igual que ocurrió con los escáneres intraorales hace una década, se espera que el desarrollo industrial y la demanda creciente de precisión impulsen una disminución progresiva de los costes y una expansión de su implementación. A medida que más estudios clínicos confirmen la eficacia y ventajas de la SPG —como ya lo han hecho los trabajos de Liu, Cheng, Ma, Tohme, Zhou, Pozzi, Nulty, Zhang y Bergin, entre otros— es previsible que esta técnica se convierta en una herramienta común en las clínicas especializadas en rehabilitación oral compleja. (3, 5, 9, 12, 14, 15, 19, 21, 22).

Además, la evolución tecnológica no se detiene. Ya se están desarrollando sistemas híbridos que combinan fotogrametría con inteligencia artificial para detectar errores en tiempo real, o integraciones automáticas con software CAD que permiten una validación inmediata del modelo escaneado antes de enviarlo al laboratorio. Estas innovaciones, junto con la expansión de la impresión 3D y los sistemas de fresado en clínica, consolidan el papel de la fotogrametría como eje del flujo digital en implantología. (1)

10. CONCLUSIÓN

En conclusión, la evidencia científica actual posiciona a la fotogrametría estereofotogramétrica (SPG) como la técnica mediantemente más fiable y precisa para la toma de impresiones digitales en rehabilitaciones completas sobre implantes. Diversos estudios, tanto in vitro como in vivo, han confirmado su superioridad en términos de exactitud y precisión frente a las técnicas convencionales (CI) e intraorales (IOS)

Esta técnica no solo destaca por ofrecer los valores de desviación más bajos sino también por su consistencia y reproducibilidad.

La fotogrametría (SPG) ha demostrado ser altamente eficaz para mantener la desviación tridimensional por debajo del umbral clínico de 100 micras, lo cual es clave para asegurar un ajuste pasivo confiable en prótesis sobre implantes y prevenir tensiones biomecánicas que puedan comprometer la osteointegración.

SPG permite registrar simultáneamente la posición e inclinación de todos los implantes en un solo procedimiento extraoral, reduciendo los errores acumulativos de los escaneos secuenciales y mejorando la ergonomía clínica y la comodidad del paciente.

A nivel operativo, reduce notablemente el tiempo clínico necesario en comparación con métodos tradicionales. Integrada en flujos digitales (con escáneres intraorales, CBCT y software CAD/CAM), proporciona una plataforma precisa para el diseño y fabricación de prótesis implantosoportadas.

A pesar de ciertos desafíos como el coste inicial, la necesidad de formación y la disponibilidad limitada, se espera una adopción creciente impulsada por el avance tecnológico y la demanda clínica.

En definitiva, la fotogrametría no solo es una herramienta avanzada, sino un símbolo de la odontología digital moderna, basada en la precisión, la eficiencia y la estandarización, alineada con los principios de la odontología 4.0.

11. **BIBLIOGRAFIA**

1. Bidra AS, AlHelal A, Rungruanganunt P. Recent advances in digital technology in implant dentistry. *J Prosthet Dent*. 2024.
2. Agarwal S, Ashok V, Maiti S, Agarwal V. Dentists' Preference toward Fixed Versus Removable Implant Prosthesis on Edentulous Jaws to Improve Quality of Life. *J Long Term Eff Med Implants*. 2022;33(1):83-89. doi: 10.1615/JLongTermEffMedImplants.2022038746. PMID: 36382708.
3. Bergin JP, Rubenstein JE, Mancl L, Brudvik JS, Raigrodski AJ. An in vitro comparison of photogrammetric and conventional complete-arch implant impression techniques. *J Prosthet Dent*. 2013;110(4):243–251.
4. Revilla-León M, et al. Intraoral digital implant scans: Parameters to improve accuracy. *J Prosthodont*. 2023.
5. Pozzi A, Tallarico M, Moy PK. All-on-four rehabilitation using photogrammetric impression technique. *J Oral Implantol*. 2019;45(3):224–230.
6. Lin WS, Harris BT, Phasuk K, Morton D. Characteristics of intraoral scan bodies and their influence on impression accuracy: A systematic review. *J Esthet Restor Dent*. 2022;34(2):245–254.
7. Geng W, Ma B, Yue X, Sun Y, Peng L. Accuracy of intraoral scan with prefabricated aids and stereophotogrammetry compared with open tray impressions for complete-arch implant-supported prosthesis: A clinical study. *J Prosthet Dent*. 2023.

8. Mahmoud AM, ElShenawy MH, El-Anwar MI. Accuracy of different digital data acquisition workflows for full arch maxillary implant prostheses (an in vitro study). *Egypt Dent J*. 2023.
9. Liu M, Fu XJ, Lai HC, Shi JY, Liu BL. Accuracy of traditional open-tray impression, stereophotogrammetry, and intraoral scanning with prefabricated aids for implant-supported complete arch prostheses with different implant distributions: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2024.
10. Salmi M, et al. The Accuracy of Open-Tray vs. Snap-on Impression Techniques in a 6-Implant model: An In Vitro 3D Study. *Materials (Basel)*. 2022;15(6):2103.
11. Mohan M, Pai AR, Kamath G, Pai RA, Rao G, Thomas M. Implant Impression Techniques using Different Materials and Methods: A Review. *J Clin Diagn Res*. 2022;16(2):ZE01-ZE05.
doi:10.7860/JCDR/2022/53057.16014.
12. Cheng J, Zhang H, Liu H, Li J, Wang HL, Tao X. Accuracy of edentulous fullarch implant impression: An in vitro comparison between conventional impression, intraoral scan with and without splinting, and photogrammetry. *Clin Oral Implants Res*. 2024.
13. Silva J, Oliveira S, Rocha E. Impact of scanning distance on the accuracy of a photogrammetry system. *J Prosthet Dent*. 2024.
14. Zhou Y, You L, Fan Z. Accuracy of implant abutment level digital impressions using stereophotogrammetry in edentulous jaws: An in vitro pilot study. *BMC Oral Health*. 2024;24:1167.

15. Tohme H, Lawand G, Eid R, Ahmed KE, Salameh Z, Makzoume J. Accuracy of Implant Level Intraoral Scanning and photogrammetry Impression Techniques in a Complete Arch with Angled and Parallel Implants: An In Vitro Study. *Appl Sci*. 2021;11(21):9859.
16. Carosi P, Pozzi A, Gallucci GO, et al. Immediate full-arch rehabilitation of edentulous jaws on 4 or 6 implants using a photogrammetry system: A retrospective study up to 2 years of follow-up. *J Prosthet Dent*. 2024.
17. Revilla-León M, et al. Trueness and precision of complete-arch photogrammetry implant scanning assessed with a coordinate-measuring machine. *J Prosthet Dent*. 2021.
18. González-Medina P, Revilla-León M, et al. Intraoral scanning and dental photogrammetry for full-arch implant-supported prosthesis: A technique. *J Prosthodont Res*. 2023.
19. Ma L, Ma Y, Jing Y, Zhang Y, Li W, Lin Y. Accuracy of photogrammetry, intraoral scanning, and conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation: an in vitro comparative study. *Int J Implant Dent*. 2021;7(1):102. doi:10.1186/s40729-021-00383-1
20. Tohme Y, Nammour S, Aboujaoude S, El Hage M, Dib A, Makzoumé JE. Accuracy of intraoral digital scanning and photogrammetry on completely edentulous arches for implant-supported fixed prostheses: A clinical study. *J Prosthet Dent*. 2024 Apr;131(4):598–605. doi:10.1016/j.prosdent.2023.08.01
21. Nulty AB. An in vivo comparison of trueness and precision of two novel methods for improving edentulous full arch implant scanning accuracy:

a pilot study. Dent J (Basel). 2024 Nov 18;12(11):367. doi:10.3390/dj12110367.

22. Zhang YJ, Qian SJ, Lai HC, Shi JY. Accuracy of photogrammetric imaging versus conventional impressions for complete-arch implant-supported fixed dental prostheses: A comparative clinical study. J Prosthet Dent. 2023 Aug;130(2):212–8. doi:10.1016/j.prosdent.2021.09.035

23. Contreras EF, Henriques GE, Giolo SR, Nobilo MA. Fit of cast commercially pure titanium and Ti-6Al-4V alloy crowns before and after marginal refinement by electrical discharge machining. J Prosthet Dent. 2002 Nov;88(5):467-72. doi: 10.1067/mpr.2002.128954. PMID: 12473994.

12. ANEXOS

Declaración de uso de Inteligencia Artificial (IA) en la elaboración deL TFG

En la elaboración del presente trabajo, se ha recurrido a herramientas de inteligencia artificial para guiar el procedimiento metodológico, concretamente ChatGPT 4°.

- Herramienta: ChatGPT 4°
- Funciones: Apoyo en el desarrollo de discursos y párrafos correctos y coherentes desde un punto de vista sintáctico, lexical y ortográfico.
- Prompts utilizados: “Encuentra y corrige eventuales errores sintácticos, lexicales u ortográficos en este párrafo y a exponerlos en manera fluyente y coherente.”
- Enlace: <https://chatgpt.com>

Tabla PRISMA checklist

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
TITLE			
Title	1	Systematic review	-
ABSTRACT			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	1-4
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	9-17
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	19-22
METHODS			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	24-25
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	25-27
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	25-27
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	30-33
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	30-33
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	30-33

	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	30-33
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	36-38
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	36-38
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	-
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	-
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	-
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	-
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	-
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	-
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	36
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	-
RESULTS			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	32
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	31-32

Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	35
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	36-38
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	-
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	-
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If metaanalysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	41-42
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	-
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	-
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	-
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	-
DISCUSSION			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	44-51
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	50-51
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	50-51
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	50-51
OTHER INFORMATION			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	

Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	

Resumen de las búsquedas

Base de datos	Ecuación de búsqueda	Número de resultados	Fecha de búsqueda
PubMed	((((EDENTULOUS)) OR (EDENTULISM) OR (FULL REHABILITATION) OR (COMPLETE REHABILITATION) OR (IMPLANT-SUPPORTED) OR (IMPLANT SUPPORTED) OR (COMPLETE-ARCH) OR (COMPLETE ARCH) OR (FULL ARCH) OR (FULL-ARCH) OR (IMPLANTS) OR (IMPLANT) OR (ALL-ON-SIX) OR (ALL-ON-6) OR (ALL-ON-FOUR) OR (ALL-ON-4) OR (4-PARA) OR (6-PARA)) AND ((PHOTOGRAMMETRY) OR (STEREOPHOTOGRAMMETRY) OR (SPG) OR (PG)) AND ((INTRAORAL SCAN) OR (INTRAORAL SCANNER) OR (SCAN BODIES) OR (IOS) OR (ANALOGIC TECHNIQUE) OR (OPEN TRAY) OR (CONVENTIONAL IMPRESSION) OR (SILICONE) OR (TRANSFER BODIES) OR (SILICON IMPRESSION) OR (OI) OR (ELASTOMERIC) OR (TRANSFER COPING)) AND ((TRUENESS) OR (PRECISION) OR (ACCURACY) OR (COMPARISON) OR (DISTANCE) OR (ANGLE) OR (ANGULATION) OR (INCLINATION) OR (ACCURATE) OR (PRECISE) OR (PREDICTABLE) OR (PREDICTABILITY) OR (DEPTH) OR (POSITION) OR (LOCATION) OR (3D MODEL))))	130	15/12
Scopus	(TITLE-ABS-KEY(Edentulous) AND TITLE-ABS-KEY(FULLY) OR TITLE-ABS-KEY(Implants) OR TITLE-ABS-KEY(Fully, edentulous) OR TITLE-ABS-KEY(COMPLETELY) AND TITLE-ABS-KEY(Edentulous) OR TITLE-ABS-KEY(Complete) AND TITLE-ABS-KEY(Rehabilitation) AND TITLE-ABS-KEY(Stereophotogrammetry) OR TITLE-ABS-KEY(Impression) OR TITLE-ABS-KEY(Intraoral scan) OR	69	15/12

	TITLE-ABS-KEY(Digital scanner) OR TITLE-ABS-KEY(Open tray technique) OR TITLE-ABS-KEY(Conventional technique) OR TITLE-ABS-KEY(Analogic technique) AND TITLE-ABS-KEY(Photogrammetry) OR TITLE-ABS-KEY(Accuracy) OR TITLE-ABS-KEY(trueness) OR TITLE-ABS-KEY(Precision))		
Web of Science	(ALL=(edentulous) OR ALL=(edentulism)) AND (ALL=(full rehabilitation) OR ALL=(complete rehabilitation)) AND (ALL=(implant supported) OR ALL=(complete arch) OR ALL=(full-arch)) AND (ALL=(implants) OR ALL=(all-on-six) OR ALL=(all-on- four)) AND (ALL=(photogrammetry) OR ALL=(stereophotogrammetry)) AND (ALL=(scan) OR ALL=(intraoral scan) OR ALL=(intraoral scanner)) AND (ALL=(conventional impression technique) OR ALL=(analogic impression technique) OR ALL=(conventional impression) OR ALL=(analogic impression) OR ALL=(elastomeric) AND (ALL=(trueness) OR ALL=(precision)) OR (ALL=(accuracy)))	6	15/12

Características de los estudios revisados

Autor	Tipo de estudio	Nº pacientes	Nº de implantes por arcada	Técnicas empleadas
Cheng y cols (2024)	In vitro	0 (modelo)	6	IC, IOS, SPG
Ma y cols (2021)	In vitro	0 (modelo)	6	IC, IOS, SPG
Zhou y cols (2024)	In vitro	0 (modelo)	4	IC, SPG
Pozzi y cols (2023)	In vivo prospectivo	11	50 en 11 arcadas	IOS, SPG
Qian y cols (2021)	Ensayo clínico	14	≥ 4 por arcada	IC, SPG
Liu y cols (2024)	In vitro	0 (modelo)	4-6	IC, IOS, SPG
Nulty y cols (2024)	Retrospectivo	10	≥ 4	IOS, SPG
Tohme y cols (2021)	In vitro	0 (modelo)	4 (2 paralelos y 2 inclinados)	IOS, SPG
Tohme y cols (2021)	In vitro	0 (modelo)	4 (2 paralelos y 2 inclinados)	IC, IOS, SPG
Bergin y cols (2013)	Ensayo clínico	0 (modelo)	≥ 4 por arcada	IC, SPG

Exactitud y precisión de la técnica de fotogrametría en comparación con la técnica convencional analógica y el escáner intraoral: una revisión sistemática

Autores: Riccardo Boni¹, Natalia Herrero Román²

1. 5th year student of the Dentistry degree at the European University of Valencia, Valencia, Spain.
2. Professor Faculty of Dentistry, European University of Valencia, Valencia, Spain

RESUMEN

Introducción

La digitalización ha transformado la odontología, optimizando tanto los procesos clínicos como los restauradores. En implantología, el uso de tecnologías como escáneres intraorales, CBCT y software CAD/CAM ha mejorado la planificación y fabricación protésica. En rehabilitaciones sobre arcadas edéntulas, la obtención de impresiones precisas es clave para lograr un ajuste pasivo adecuado. Las técnicas convencionales presentan limitaciones como errores humanos y molestias para el paciente, mientras que los escáneres intraorales, aunque más cómodos, pueden ser imprecisos en arcos completos debido a la falta de referencias anatómicas y errores acumulativos. Ante estas limitaciones, la fotogrametría estereofotogramétrica (SPG) surge como una alternativa avanzada, capaz de registrar simultáneamente y con gran exactitud la posición e inclinación de múltiples implantes en un entorno extraoral, reduciendo errores del escaneo secuencial y mejorando la precisión global. La literatura científica demuestra que SPG ofrece mejores resultados en exactitud y precisión que las técnicas convencionales e IOS, con valores dentro del rango clínicamente aceptado ($<100\text{ }\mu\text{m}$), consolidándose como una herramienta clave en el marco de la odontología digital 4.0.

Materiales y métodos

Se realizó una búsqueda bibliográfica a través de las bases de datos electrónicas PubMed, Scopus y Web of Science sobre Fotogrametría en comparación con otras técnicas de escaneo y de impresión de implantes hasta enero 2025.

Resultados

Esta revisión sistemática analizó 10 estudios que evaluaron la exactitud y precisión de tres técnicas de impresión utilizadas en rehabilitaciones completas sobre implantes: la impresión convencional, el escaneo intraoral (IOS) y la fotogrametría estereofotogramétrica (SPG). De estos, siete estudios in vitro mostraron de forma consistente que SPG ofrecía las menores desviaciones tanto lineales como angulares. Los estudios clínicos in vivo confirmaron estos hallazgos bajo condiciones reales. Además, un estudio retrospectivo y un ensayo clínico aportaron evidencia adicional a favor de SPG. En conjunto, los datos respaldan a la fotogrametría como la técnica más precisa y fiable tanto en contextos experimentales como clínicos.

Conclusión

La fotogrametría estereofotogramétrica (SPG) se posiciona como la técnica más precisa y fiable para la toma de impresiones digitales en rehabilitaciones completas sobre implantes, superando al escaneo intraoral (IOS) y a la impresión convencional (CI). Su capacidad para registrar todos los implantes simultáneamente en un entorno extraoral permite minimizar errores, mejorar la ergonomía clínica y reducir el tiempo del procedimiento. Aunque presenta desafíos como el alto coste y la necesidad de formación específica, su integración en flujos digitales avanzados y su alineación con los principios de la odontología 4.0 la convierten en una herramienta clave para el futuro. Se requieren más estudios para estandarizar los métodos y validar su uso generalizado.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital en odontología ha revolucionado tanto los procesos clínicos como los restauradores, permitiendo tratamientos más personalizados, eficientes y precisos. En el ámbito de la implantología, el flujo digital ha mejorado significativamente la planificación quirúrgica y la fabricación protésica, integrando tecnologías como escáneres intraorales, CBCT y software CAD/CAM. (1)

Dentro de este contexto, la rehabilitación de arcadas edéntulas mediante implantes requiere una toma de impresión extremadamente precisa para garantizar el ajuste pasivo de la prótesis. Las técnicas convencionales, aunque aún utilizadas, presentan limitaciones como la incomodidad del paciente, posibles errores humanos y variabilidad en los materiales. Los avances en impresión digital han llevado al uso generalizado de escáneres intraorales (IOS), que mejoran la experiencia del paciente y reducen errores materiales, aunque aún presentan dificultades en arcos completos debido a la acumulación de errores y la falta de referencias anatómicas en zonas edéntulas. (2)

Frente a estas limitaciones, la fotogrametría estereofotogramétrica (SPG) emerge como una técnica innovadora que permite registrar con alta exactitud la posición y angulación de múltiples implantes simultáneamente, eliminando los errores acumulativos propios del escaneo secuencial. La SPG se realiza de forma extraoral, con marcadores ópticos sobre los pilares multiunidad, y sus datos se integran con escaneos intraorales para obtener una representación tridimensional completa de la situación clínica del paciente. (3)

Numerosos estudios destacan que tanto la exactitud (relación entre medición y realidad) como la precisión (reproducibilidad de las mediciones) de la SPG superan las obtenidas mediante técnicas convencionales e IOS, manteniéndose dentro de márgenes clínicamente aceptables (generalmente por debajo de 100 micras). La adopción de esta técnica en flujos de trabajo digitales representa un avance significativo hacia una odontología 4.0: más precisa, digital, estandarizada y centrada en el paciente. (8-10)

Objetivos

Objetivo principal: Comparar la exactitud y precisión de la técnica de fotogrametría en respecto al escáner intraoral y a la técnica convencional en la impresión de implantes en arcadas edéntulas rehabilitadas con múltiples implantes, con el objetivo de definir la técnica que nos proporciona un ajuste pasivo entre prótesis y implantes insertados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo la declaración de la Guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses)

Se formuló la pregunta PICO para plantear la investigación y la búsqueda de la información.

- **P:** Paciente con edentulismo total en una o ambas arcadas, con múltiples implantes cada arcada
- **I:** Impresión con fotogrametría
- **C:** Impresión con escáner intraoral y técnica analógica con cubeta
- **O:** Evaluación de la exactitud y precisión de las técnicas empleadas en cuanto a posición tridimensional y inclinación

Criterios de inclusión

1. Estado edéntulo completo del paciente en la arcada a rehabilitar: Solo se incluyeron pacientes con edentulismo total en la arcada inferior, superior o ambas.
2. Rehabilitación con implantes: Los pacientes incluidos en el estudio tienen que ser sometidos a tratamiento de rehabilitación con múltiples implantes en la arcada edéntula, para llevar una prótesis completa sobre implantes
3. Estudios individuales y colectivos: Se han considerado los estudios de un único caso o de múltiples casos

4. Variación en el número de participantes desde los cuales se han tomado los modelos
5. Inclusión de estudios in vitro e in vivo: Esta inclusión permitió expandir la colección de datos sobre las diferentes técnicas, que en la mayoría de los casos están estudiada in vitro, a través de modelos de escayola hechos en laboratorios, pero también directamente sobre bocas de pacientes edentulos
6. Especificaciones temporales: No se aplicaron restricciones ni sobre el momento del estudio, ni sobre el seguimiento
7. Artículos en inglés: Se incluyeron artículos en inglés debido a la mayoría de las publicaciones en este idioma. La búsqueda en inglés permite encontrar una mayor cantidad de estudios diferente, considerando que los artículos escritos originariamente en otros idiomas suelen encontrarse traducidos en inglés

Fuente de información y estrategia de búsqueda

Se llevó a cabo una búsqueda avanzada en las bases de datos científicas PubMed, Scopus y Web Of Science.

Se llevaron a cabo búsquedas en diferentes bases de datos. La ecuación de búsqueda en PubMed fue la siguiente:

((((EDENTULOUS)) OR (EDENTULISM) OR (FULL REHABILITATION) OR (COMPLETE REHABILITATION) OR (IMPLANT-SUPPORTED) OR (IMPLANT SUPPORTED) OR (COMPLETE-ARCH) OR (COMPLETE ARCH) OR (FULL ARCH) OR (FULL-ARCH) OR (IMPLANTS) OR (IMPLANT) OR (ALL-ON-SIX) OR (ALL-ON- 6) OR (ALL-ON-FOUR) OR (ALL-ON-4) OR (4-PARA) OR (6-PARA)) AND ((PHOTOGRAMMETRY) OR (STEREOPHOTOGRAMMETRY) OR (SPG) OR (PG)) AND ((INTRAORAL SCAN) OR (INTRAORAL SCANNER) OR (SCAN BODIES) OR (IOS) OR (ANALOGIC TECHNIQUE) OR (OPEN TRAY) OR (CONVENTIONAL IMPRESSION) OR (SILICONE) OR (TRANSFER BODIES) OR (SILICON IMPRESSION) OR (OI) OR (ELASTOMERIC) OR (TRANSFER COPING)) AND ((TRUENESS) OR (PRECISION) OR (ACCURACY) OR (COMPARISON) OR (DISTANCE) OR (ANGLE) OR (ANGULATION) OR (INCLINATION) OR (ACCURATE) OR (PRECISE) OR (PREDICTABLE) OR (PREDICTABILITY) OR (DEPTH) OR (POSITION) OR (LOCATION) OR (3D MODEL)))

La búsqueda en Scopus se ha llevado a cabo a través de la siguiente ecuación:

(TITLE-ABS-KEY(Edentulous) AND TITLE-ABS-KEY(FULLY) OR

TITLE-ABS-KEY(Implants) OR TITLE-ABS-KEY(Fully, edentulous) OR TITLE-ABS-KEY(COMPLETELY) AND TITLE-ABS-KEY(Edentulous) OR TITLE-ABS-KEY(Complete) AND TITLE-ABS-KEY(Rehabilitation) AND TITLE-ABS-KEY(Stereophotogrammetry) OR TITLE-ABS-KEY(Impression) OR TITLE-ABS-KEY(Intraoral scan) OR TITLE-ABS-KEY(Digital scanner) OR TITLE-ABS-KEY(Open tray technique) OR TITLE-ABS-KEY(Conventional technique) OR TITLE-ABS-KEY(Analogic technique) AND TITLE-ABS-KEY(Photogrammetry) OR TITLE-ABS-KEY(Accuracy) OR TITLE-ABS-KEY(trueness) OR TITLE-ABS-KEY(Precision))

La búsqueda en Web of Science se ha llevado a cabo con la siguiente ecuación:

(ALL=(edentulous) OR ALL=(edentulism)) AND (ALL=(full rehabilitation) OR ALL=(complete rehabilitation)) AND (ALL=(implant supported) OR ALL=(complete arch) OR ALL=(full-arch)) AND (ALL=(implants) OR ALL=(all-on-six) OR ALL=(all-on-four)) AND (ALL=(photogrammetry) OR ALL=(stereophotogrammetry)) AND (ALL=(scan) OR ALL=(intraoral scan) OR ALL=(intraoral scanner)) AND (ALL=(conventional impression technique) OR ALL=(analogic impression technique) OR ALL=(conventional impression) OR ALL=(analogic impression) OR ALL=(elastomeric) AND (ALL=(trueness) OR ALL=(precision)) OR (ALL=(accuracy)))

Proceso de selección de los estudios

El proceso de selección de los artículos incluidos en esta revisión se llevó a cabo en tres fases sucesivas. En una primera etapa de identificación, se descartaron los artículos que no tenían una relación directa con el tema central del trabajo, es decir, aquellos que no abordaban la técnica de fotogrametría ni su comparación con otras técnicas de impresión, ya fueran convencionales o digitales mediante escáner intraoral. En la segunda fase, correspondiente al cribado o screening, se seleccionaron las publicaciones que trataban específicamente sobre impresiones digitales (ya sea mediante escáner intraoral o fotogrametría) y técnicas convencionales en el contexto de rehabilitaciones completas sobre implantes. Finalmente, en la fase de elegibilidad, se excluyeron aquellos estudios que no trataban directamente impresiones sobre implantes en pacientes completamente edéntulos o que no evaluaban parámetros como la precisión y la exactitud de las técnicas analizadas.

Extracción de datos

La información relevante fue extraída de los estudios seleccionados y organizada en tablas, clasificando los datos según el tipo de técnica de impresión analizada: fotogrametría, escáner intraoral o técnica convencional analógica. Para cada técnica, se recogieron datos como los autores y el año de publicación, el tipo de estudio realizado, el número de pacientes y de implantes incluidos, la localización e inclinación de los implantes, el material utilizado, la cantidad de escaneos efectuados, el método empleado para obtener el modelo de comparación, la marca del escáner o del sistema de fotogrametría utilizado, así como las desviaciones observadas en relación con dicho modelo.

De los 10 estudios revisados, 7 son estudios en vitro, el cual riesgo de sesgo ha sido medido a través de la guía “Arrive y Consort”, modificada para los estudios en vitro ([tabla 3](#)). Los otros 3 estudios, ensayos clínicos aleatorizados, han sido analizados con la guía Cochrane (<http://handbook.cochrane.org>) las publicaciones fueron consideraras de “bajo riesgo de sesgo” cuando cumplían todos los criterios, “alto riesgo de sesgo” cuando no se cumplía ≥ 1 criterios y por tanto se considera que el estudio presenta un sesgo posible que debilita la fiabilidad de los resultados y “sesgo incierto” (por falta de información) las publicaciones fueron consideraras de “bajo riesgo de sesgo” cuando cumplían todos los criterios, “alto riesgo de sesgo” cuando no se cumplía ≥ 1 criterios y por tanto se considera que el estudio presenta un sesgo posible que debilita la fiabilidad de los resultados y “sesgo incierto” (por falta de información)

Valoración de la calidad

De los 10 estudios revisados, 7 son estudios en vitro, el cual riesgo de sesgo ha sido medido a través de la guía “Arrive y Consort”, modificada para los estudios en vitro ([tabla 3](#)) Se considera que un estudio presenta riesgo bajo de sesgo cuando cumple con al menos el 75% de los ítems recomendados. Esto indica que el diseño, la metodología y la presentación de resultados del estudio son adecuados y que la probabilidad de que existan errores sistemáticos que afecten la validez de sus conclusiones es mínima.

Un riesgo moderado de sesgo se atribuye a aquellos estudios que cumplen entre el 50% y el 74% de los ítems. En estos casos, aunque el estudio sigue criterios metodológicos razonables, pueden existir ciertas limitaciones o inconsistencias que podrían influir en los resultados o en su interpretación.

Por último, se clasifica como riesgo alto de sesgo cuando el estudio cumple menos del 50% de los ítems establecidos por las guías. Esta categoría refleja una metodología deficiente

o incompleta, lo que compromete seriamente la fiabilidad de los resultados obtenidos y limita su aplicabilidad clínica o científica.

. Los otros 3 estudios, ensayos clínicos aleatorizados, han sido analizados con la guía Cochrane (<http://handbook.cochrane.org>). Las publicaciones fueron consideradas de “bajo riesgo de sesgo” cuando cumplían todos los criterios, “alto riesgo de sesgo” cuando no se cumplía ≥ 1 criterios y por tanto se considera que el estudio presenta un sesgo posible que debilita la fiabilidad de los resultados y “sesgo incierto” (por falta de información).

Síntesis de datos

Con el objetivo de confrontar las diferentes variables de resultados entre los estudios, las medias de los valores de exactitud y precisión de las diferentes técnicas de representación tridimensional de implantes sobre arcadas edéntulas (impresión convencional, escáner intraoral y fotogrametría) de las variables principales fueron seleccionadas dependiendo del grupo de estudio. Se calculó la media ponderada con el fin de obtener resultados más objetivos.

RESULTADOS

Selección de estudios

Se obtuvieron un total de 199 artículos del proceso de búsqueda inicial: Medline – PubMed (n = 106), SCOPUS (n = 69), Web of Science (n = 6) y 1 a través de una búsqueda manual.

Del primer grupo de resultados, se descartaron los artículos que no estaban relacionados con la fotogrametría, las prótesis sobre implantes y las técnicas de impresión convencionales, dejando solamente los artículos que medían la precisión y la exactitud de los métodos convencional, de escáner digital y fotogrametría. Este cribado redujo el número de artículos utilizables a 22. De estas publicaciones, se eliminaron 12 por los motivos indicados en la tabla 1.

Este cribado redujo el número de artículos utilizables a 10, las que cumplieron los criterios de inclusión y fueron incluidos en la presente revisión sistemática.

Análisis de las características de los estudios revisados

Esta revisión sistemática incluyó 10 estudios que compararon la exactitud y precisión de la impresión convencional, el escaneo intraoral (IOS) y la fotogrametría estereofotogramétrica (SPG) en rehabilitaciones completas sobre implantes. Siete estudios in vitro demostraron que SPG obtuvo consistentemente las menores desviaciones lineales y angulares. Los estudios clínicos (in vivo) confirmaron su superioridad también en condiciones reales. Un estudio retrospectivo y un ensayo clínico reforzaron estos resultados. En conjunto, la evidencia indica que SPG es la técnica más precisa y fiable tanto en el entorno de laboratorio como en el clínico.

Evaluación de la calidad metodológica

Los estudios in vitro, analizados con la guía Cochrane fueron evaluados como de bajo riesgo de sesgo, mientras que los ensayos clínicos aleatorizados, analizados con la guía Consort, fueron considerados de sesgo moderado.

Síntesis de resultados

Los resultados obtenidos demuestran de forma consistente que la fotogrametría estereofotogramétrica (SPG) es la técnica más precisa y exacta entre las evaluadas. En el estudio de Liu et al., SPG presentó los valores RMS más bajos tanto en exactitud ($21 \pm 4 \mu\text{m}$) como en precisión ($9 \pm 7 \mu\text{m}$), situándose claramente por debajo del umbral crítico de $100 \mu\text{m}$ establecido por Ruiz (2002). En comparación, la técnica convencional (CI) e intraoral (IOS) superaron dicho límite, especialmente IOS, comprometiendo potencialmente el ajuste pasivo.

Esta tendencia se confirma en el estudio de Cheng y cols., donde SPG alcanzó un RMS medio de $41,1 \mu\text{m}$, también inferior al de IOS ($77,1 \mu\text{m}$) y CI ($69,2 \mu\text{m}$), y mostró una desviación angular mínima de $0,13^\circ$, consolidando su superioridad tanto en precisión lineal como angular.

Ma y cols. (19) refuerzan estos hallazgos al registrar una exactitud media de $24,45 \mu\text{m}$ y una precisión de solo $2 \mu\text{m}$ con SPG, valores que no solo se encuentran dentro del estándar de Ruiz (2002), sino incluso por debajo del límite de $10 \mu\text{m}$ propuesto por Brånemark para un ajuste verdaderamente pasivo. Por el contrario, IOS y CI se sitúan por encima de estos márgenes.

Tohme y cols. (20) también identificaron en SPG las menores distorsiones angulares y desviaciones tridimensionales, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) frente a IOS y CI. Zhang y cols. (22) observaron desviaciones medias tridimensionales de 70

$\pm 57 \mu\text{m}$ y angulares de $0,432^\circ$, con una precisión de $5,6 \mu\text{m}$ en SPG frente a $17,2 \mu\text{m}$ en CI, dentro del rango clínico aceptable descrito por Ruiz y cols. (23)

En la comparación de escáneres, Nulty (21) evidenció que el sistema fotogramétrico “Shining 3D Elite” superó incluso a escáneres intraorales optimizados con ayudas mecánicas como el Scan Ladder. Finalmente, el estudio clínico de Pozzi et al. (5) confirmó que SPG presenta menor desviación 3D ($87,6 \mu\text{m}$) y angular ($0,38^\circ$) que IOS ($137,2 \mu\text{m}$ y $0,79^\circ$), manteniéndose dentro de los límites clínicos aceptables para rehabilitaciones completas

DISCUSIÓN

La técnica de fotogrametría estereofotogramétrica (SPG) demostró ser la más precisa entre las tres técnicas analizadas (SPG, escáner intraoral [IOS] e impresión convencional [CI]). En términos de exactitud, SPG presentó desviaciones RMS tan bajas como $21 \pm 4 \mu\text{m}$, en comparación con $88 \pm 21 \mu\text{m}$ para IOS y $35 \pm 18 \mu\text{m}$ para CI (Liu et al., 2024). Otro estudio reportó valores medios de $69.2 \mu\text{m}$ para SPG, $79,6 \mu\text{m}$ para IOS y $87,3 \mu\text{m}$ para CI (Cheng et al., 2024). Ma et al. confirmaron una exactitud media de $24,43 \mu\text{m}$ para SPG, frente a $43,78 \mu\text{m}$ para IOS y $29,75 \mu\text{m}$ para CI (Ma et al., 2021).

En cuanto a precisión, SPG alcanzó valores de $10 \pm 10 \mu\text{m}$, frente a $100 \pm 122 \mu\text{m}$ (IOS) y $73 \pm 84 \mu\text{m}$ (CI) (Liu et al., 2024). En otros análisis, la desviación angular media fue de $0,08^\circ$ para SPG, muy inferior a la de IOS ($0,61^\circ$) y CI ($0,62^\circ$).

Los estudios clínicos también mostraron superioridad de SPG: una desviación 3D de $69.2 \mu\text{m}$ y angular de $0,39^\circ$ frente a $137,2 \mu\text{m}$ y $0,79^\circ$ para IOS (Pozzi et al., 2019).

Todos los valores de SPG se mantuvieron por debajo del umbral clínicamente aceptado de $100 \mu\text{m}$, incluso llegando a estar por debajo del estándar de $100 \mu\text{m}$ considerado crítico para el ajuste pasivo (Rech, 2015; Ruiz, 2002). Estos resultados posicionan a SPG como la técnica más fiable y reproducible tanto en contextos in vitro como clínicos.

La revisión evidencia que la fotogrametría estereofotogramétrica (SPG) no solo se destaca por su superioridad técnica en exactitud y precisión, sino también por sus ventajas clínicas y operativas (9, 12, 14). A diferencia del escaneo intraoral (IOS), que requiere recorrer cada implante secuencialmente —lo que puede generar errores acumulativos—, SPG registra simultáneamente la posición e inclinación de todos los implantes, reduciendo significativamente las fuentes de error como el movimiento del paciente, la humedad o los reflejos mucosos (19, 20).

SPG permite trabajar en un entorno completamente extraoral, mejorando la ergonomía profesional y el confort del paciente (9). Además, al integrarse con otros sistemas digitales como el escaneo intraoral, CBCT y software CAD/CAM, crea un flujo de trabajo digital completo y altamente eficiente (12, 19). Esta interoperabilidad sitúa a la SPG dentro del concepto de odontología 4.0, centrada en la estandarización, la eficiencia y la experiencia del paciente (5, 19).

También destaca la consistencia de los resultados de SPG en diferentes configuraciones clínicas, incluidas las rehabilitaciones All-on-4 y All-on-6, lo que evidencia una alta reproducibilidad incluso en situaciones complejas (9, 12). En contraste, tanto las técnicas convencionales como el escaneo intraoral presentan una mayor variabilidad influenciada por factores técnicos y humanos como la manipulación de materiales, la angulación de los implantes o la longitud del arco (14, 20).

Desde el punto de vista operativo, SPG permite registrar todos los implantes en menos de cinco minutos, sin necesidad de fraguado ni materiales adicionales, lo que incrementa la eficiencia clínica (9). Este ahorro de tiempo y recursos, sumado a su fiabilidad, la convierte en una opción práctica tanto para el profesional como para el paciente.

Pese a sus ventajas, la implementación generalizada de SPG aún enfrenta desafíos: alto coste inicial, curva de aprendizaje y disponibilidad limitada en algunas clínicas (21). No obstante, se prevé que la evolución tecnológica y la creciente demanda de precisión impulsen su adopción, tal como ocurrió previamente con los escáneres intraorales (21). Además, el desarrollo de tecnologías complementarias como la inteligencia artificial y la impresión 3D refuerza su papel central en la digitalización de la implantología moderna (1).

CONCLUSIÓN

La fotogrametría estereofotogramétrica (SPG) se consolida como la técnica más precisa y confiable para la toma de impresiones digitales en rehabilitaciones completas sobre implantes, superando en exactitud y precisión tanto a la técnica convencional (CI) como al escaneo intraoral (IOS). Su capacidad para mantener desviaciones tridimensionales por debajo del umbral clínico de 100 μm la posiciona como la opción más adecuada para garantizar un ajuste pasivo seguro y duradero.

Además de sus ventajas técnicas, SPG permite registrar simultáneamente la posición e inclinación de todos los implantes en un entorno extraoral, lo que reduce errores acumulativos y mejora la comodidad del paciente y la ergonomía del profesional. A nivel clínico-operativo,

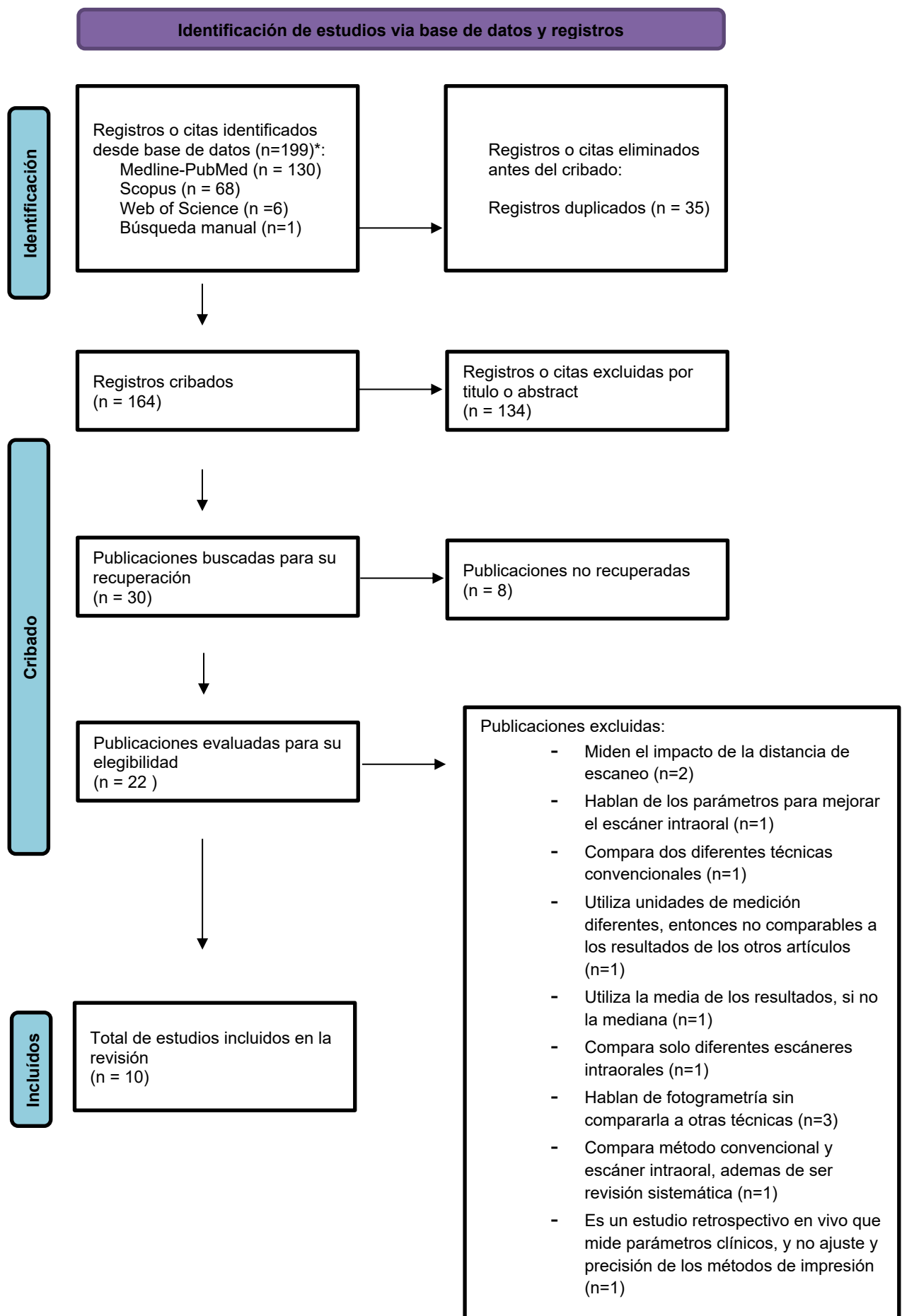
también destaca por reducir significativamente el tiempo necesario para la toma de impresión y por integrarse eficazmente en flujos de trabajo digitales junto a tecnologías como el CBCT y el software CAD/CAM.

A pesar de sus beneficios, su adopción aún enfrenta desafíos como el alto coste inicial, la necesidad de formación especializada y su disponibilidad limitada. Sin embargo, se espera que estos obstáculos disminuyan a medida que avance la tecnología y aumente la demanda clínica.

SPG no solo representa una innovación técnica, sino también un cambio en la filosofía clínica hacia una odontología más digital, eficiente y estandarizada, alineada con los principios de la odontología 4.0. No obstante, se requiere más investigación para homogeneizar los métodos de análisis y reforzar la base científica que respalde su uso clínico generalizado.

	EXACTITUD			PRECISIÓN		
TÉCNICA DE IMPRESIÓN	CI	IOS	SPG	CI	IOS	SPG
Liu y cols. (9)	Desviación 3D: 72±60 µm Desviación angular: 0.40±0.40° RMS error: 35±18	Desviación 3D: 168±133 µm Desviación angular: 0.43±0.34° RMS error: 88±21	Desviación 3D: 35±19 µm Desviación angular: 0.25±0.16° RMS error: 21±4	Desviación de distancia: 73±84 µm Desviación angular: 0.33±0.5° RMS error: 36±26	Desviación de distancia: 100±122 µm Desviación angular: 0.29±0.26° RMS error: 57±32	Desviación de distancia: 10±10 µm Desviación angular: 0.07±0.08 RMS error: 9±7
Cheng y cols. (12)	Error RMS medio: 87.3 Desviación angular media: 0.56°	Error RMS medio: 79.6 Desviación angular media: 0.69°	Error RMS medio: 69.2 Desviación angular media: 0.39°	Error RMS medio: 77.1 Desviación angular media: 0.4°	Error RMS medio: 59.2 Desviación angular media: 0.30°	Error RMS medio: 41.1 Desviación angular media: 0.16°
Zhou y cols (14)	Desviación 3D: 47 µm Desviación angular: 0.74°	-	Desviación 3D: 147 µm Desviación angular: 0.82°	-	-	-
Tohme y cols (15)		Desviación RMS 3D: 53.6±63.0 µm Desviación angular: 1.744±0.175°	Desviación RMS 3D: 78±1 µm Desviación angular: 0.724±0.064°		Desviación RMS 3D: 39±9 µm	Desviación RMS 3D: 14±13 µm
Nulty y cols. (21)		Desviación 3D: 48.1 µm	Desviación 3D: 18.7 µm			
Ma y cols. (19)	Desviación 3D: 29.75 µm	Desviación 3D: 43.78 µm	Desviación 3D: 24.43 µm	Desviación 3D: 29.72 µm	Desviación 3D: 37.07 µm	Desviación 3D: 2.32 µm
Pozzi y cols. (5)		Desviación 3D: 137.2 Desviación angular : 0.79	Desviación 3D: 87.6 Desviación angular: 0.38			

Tohme y cols (20)	Desviación RMS 3D: 115±37 µm Desviación angular: 0.922±0.194 °	Desviación RMS 3D: 148±61 µm Desviación angular: 1.081±0.348°	Desviación RMS 3D: 88±6 µm Desviación angular: 0.809±0.005°	Desviación RMS 3D: 103±24 µm Desviación angular: 1.142±0.296°	Desviación RMS 3D: 63±35 µm Desviación angular: 0.221±0.088°	Desviación RMS 3D: 2±1 µm Desviación angular: 0.010±0.011°
Zhang y cols (22)			Desviación 3D: 10+-57 Angular desviación: 0.432±0.348			
Bergin y cols. (3)				Desviación 3D: 26.2		Desviación 3D: 28.8



	Tohme y cols.	Zhou y cols	Cheng y cols	Ma y cols	Liu y cols	Tohme Y cols	Bergin y cols
<i>Título y abstract claros</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Introducción con contexto y racional</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Objetivos declarados</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Diseño experimental descripto</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Presencia de controles experimentales</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Justificación de la muestra</i>	0	0	0	0	1	1	1
<i>Aleatorización</i>	0	0	1	0	0	0	0
<i>Ciego</i>	0	0	1	0	0	0	0
<i>Materiales y métodos detallados</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Análisis estadística adecuada</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Resultados claros y completos</i>	1	1	1	1	1	1	1

<i>Repetibilidad del experimento</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Discusión de los límites</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Conclusión basada sobre datos</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Transparencia</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Riesgo de sesgo</i>	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Tabla 4

	Nulty	Pozzi y cols.	Qian y cols.
<i>Sesgo debido a confusión</i>	Moderado	Moderado	Moderado
<i>Sesgo en la selección de los participantes</i>	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Sesgo en la clasificación de las intervenciones</i>	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Sesgo debido a la desviación de los participantes</i>	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Sesgo en el manejo de los datos faltantes</i>	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Sesgo en la medición de los resultados</i>	Moderado	Moderado	Moderado
<i>Sesgo en la selección de los resultados expuestos</i>	Moderado	Moderado	Moderado
<i>Riesgo de sesgo</i>	Moderado	Moderado	Moderado

Trueness and precision of photogrammetry in comparison to conventional impression and intraoral scan. A sistematic review

Autores: Riccardo Boni¹, Natalia Herrero Román²

1. Estudiante del 5º año del grado de odontología a la Universidad Europea de Valencia, Valencia, España
2. Profesor de la facultad de odontología de la Universidad Europea de Valencia, Valencia, España

ABSTRACT

Introduction

Digitalization has transformed dentistry, optimizing both clinical and restorative procedures. In implantology, the use of technologies such as intraoral scanners, CBCT, and CAD/CAM software has significantly improved prosthetic planning and fabrication. In full-arch edentulous rehabilitations, obtaining highly accurate impressions is crucial to achieving proper passive fit. Conventional techniques present limitations such as human error and patient discomfort, while intraoral scanners (IOS), though more comfortable, may lack accuracy in full arches due to the absence of anatomical references and cumulative errors. To overcome these limitations, stereophotogrammetry (SPG) has emerged as an advanced alternative, capable of simultaneously recording the position and angulation of multiple implants with high precision in an extraoral environment, reducing sequential scanning errors and improving overall accuracy. Scientific literature shows that SPG consistently delivers better results in both accuracy and precision compared to conventional techniques and IOS, with values within the clinically accepted range ($<100\text{ }\mu\text{m}$), establishing itself as a key tool in the framework of digital dentistry 4.0.

Materials and Methods

A literature search was conducted in the electronic databases PubMed, Scopus, and Web of Science for studies comparing photogrammetry with other implant scanning and impression techniques, up to January 2025.

Results

This systematic review analyzed 10 studies evaluating the accuracy and precision of three impression techniques used in full-arch implant rehabilitations: conventional impression, intraoral scanning (IOS), and stereophotogrammetry (SPG). Of these, seven in vitro studies consistently showed that SPG had the lowest linear and angular deviations. In vivo clinical studies confirmed these findings under real-world conditions. Additionally, one retrospective study and one clinical trial further supported the advantages of SPG. Collectively, the data position photogrammetry as the most accurate and reliable technique in both experimental and clinical contexts.

Conclusion

Stereophotogrammetry (SPG) stands out as the most accurate and reliable technique for digital impressions in full-arch implant rehabilitations, outperforming both intraoral scanning (IOS) and conventional impressions (CI). Its ability to simultaneously register all implants in an extraoral setting minimizes errors, enhances clinical ergonomics, and reduces procedural time. Despite challenges such as high initial costs and the need for specialized training, SPG's integration into advanced digital workflows and alignment with the principles of dentistry 4.0 make it a key tool for the future. Further studies are needed to standardize methodologies and validate its widespread clinical use.

INTRODUCTION

The digital transformation in dentistry has revolutionized both clinical and restorative processes, enabling more personalized, efficient, and accurate treatments. In the field of implantology, the digital workflow has significantly improved surgical planning and prosthetic manufacturing by integrating technologies such as intraoral scanners, CBCT, and CAD/CAM software. (1)

Within this context, the rehabilitation of edentulous arches with implants requires extremely accurate impressions to ensure a passive fit of the prosthesis. Although conventional techniques are still used, they present limitations such as patient discomfort, potential human errors, and variability in materials. Advances in digital impressions have led to the widespread use of intraoral scanners (IOS), which enhance the patient experience and reduce material-related errors. However, they still present challenges in full-arch cases due to accumulated errors and lack of anatomical landmarks in edentulous areas. (2)

To overcome these limitations, stereophotogrammetry (SPG) has emerged as an innovative technique that accurately records the position and angulation of multiple implants simultaneously, eliminating cumulative errors inherent in sequential scanning. SPG is performed extraorally using optical markers on multi-unit abutments, and its data are integrated with intraoral scans to obtain a complete 3D representation of the patient's clinical situation. (3)

Numerous studies highlight that both the trueness (the relation between the measurement and the actual value) and the precision (the reproducibility of measurements) of SPG exceed those obtained with conventional and IOS techniques, remaining within clinically acceptable margins (generally below 100 microns). The adoption of this technique

within digital workflows marks significant progress toward Dentistry 4.0: more precise, digital, standardized, and patient-centered. (8-10)

Objectives

Main Objective:

To compare the accuracy and precision of the photogrammetry technique in relation to intraoral scanning and the conventional impression technique in the impression of implants in edentulous arches rehabilitated with multiple implants, with the aim of identifying the technique that provides a passive fit between the prosthesis and the placed implants.

MATERIALS AND METHODS

This systematic review was carried out following the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines.

A PICO question was formulated to guide the research and information search:

- P (Population): Patients with total edentulism in one or both arches, rehabilitated with multiple implants per arch
- I (Intervention): Impression using photogrammetry
- C (Comparison): Impression using intraoral scanner and conventional open tray technique
- O (Outcome): Evaluation of the accuracy and precision of the techniques used regarding three-dimensional position and inclination

Inclusion Criteria

1. Total edentulism in the arch to be rehabilitated: only patients with complete edentulism in the lower, upper, or both arches were included.
2. Rehabilitation with implants: patients had to be undergoing treatment with multiple implants to support a full-arch prosthesis.
3. Individual and collective studies: both single-case and multi-case studies were included.
4. Variation in the number of participants from whom the models were taken.
5. Inclusion of in vitro and in vivo studies: allowing a broader data collection from both laboratory-made gypsum models and real edentulous patients.
6. No time or follow-up restrictions were applied.

7. Only articles published in English were included, as this language dominates scientific literature and often includes translated versions of studies from other languages.

Information Source and Search Strategy

An advanced search was conducted in the scientific databases PubMed, Scopus, and Web of Science.

Search equation in PubMed:

((((EDENTULOUS) OR (EDENTULISM) OR (FULL REHABILITATION) OR (COMPLETE REHABILITATION) OR (IMPLANT-SUPPORTED) OR (IMPLANT SUPPORTED) OR (COMPLETE-ARCH) OR (COMPLETE ARCH) OR (FULL ARCH) OR (FULL-ARCH) OR (IMPLANTS) OR (IMPLANT) OR (ALL-ON-SIX) OR (ALL-ON- 6) OR (ALL-ON-FOUR) OR (ALL-ON-4) OR (4-PARA) OR (6-PARA)) AND ((PHOTOGRAMMETRY) OR (STEREOPHOTOGRAMMETRY) OR (SPG) OR (PG)) AND ((INTRAORAL SCAN) OR (INTRAORAL SCANNER) OR (SCAN BODIES) OR (IOS) OR (ANALOGIC TECHNIQUE) OR (OPEN TRAY) OR (CONVENTIONAL IMPRESSION) OR (SILICONE) OR (TRANSFER BODIES) OR (SILICON IMPRESSION) OR (OI) OR (ELASTOMERIC) OR (TRANSFER COPING)) AND ((TRUENESS) OR (PRECISION) OR (ACCURACY) OR (COMPARISON) OR (DISTANCE) OR (ANGLE) OR (ANGULATION) OR (INCLINATION) OR (ACCURATE) OR (PRECISE) OR (PREDICTABLE) OR (PREDICTABILITY) OR (DEPTH) OR (POSITION) OR (LOCATION) OR (3D MODEL)))

Search equation in Scopus: (TITLE-ABS-KEY(Edentulous) AND TITLE-ABS-KEY(FULLY) OR TITLE-ABS-KEY(Implants) OR TITLE-ABS-KEY(Fully, edentulous) OR TITLE- ABS-KEY(COMPLETELY) AND TITLE-ABS-KEY(Edentulous) OR TITLE-ABS-KEY(Complete) AND TITLE-ABS-KEY(Rehabilitation) AND TITLE-ABS-KEY(Stereophotogrammetry) OR TITLE-ABS-KEY(Impression) OR TITLE-ABS-KEY(Intraoral scan) OR TITLE-ABS-KEY(Digital scanner) OR TITLE-ABS-KEY(Open tray technique) OR TITLE-ABS-KEY(Conventional technique) OR TITLE- ABS-KEY(Analogic technique) AND TITLE-ABS-KEY(Photogrammetry) OR TITLE- ABS-KEY(Accuracy) OR TITLE-ABS-KEY(trueness) OR TITLE-ABS-KEY(Precision))

Search equation in Web of Science: (ALL=(edentulous) OR ALL=(edentulism)) AND (ALL=(full rehabilitation) OR ALL=(complete

rehabilitation)) AND (ALL=(implant supported) OR ALL=(complete arch) OR ALL=(full-arch)) AND (ALL=(implants) OR ALL=(all-on-six) OR ALL=(all-on-four)) AND (ALL=(photogrammetry) OR ALL=(stereophotogrammetry)) AND (ALL=(scan) OR ALL=(intraoral scan) OR ALL=(intraoral scanner)) AND (ALL=(conventional impression technique) OR ALL=(analogic impression technique) OR ALL=(conventional impression) OR ALL=(analogic impression) OR ALL=(elastomeric) AND (ALL=(trueness) OR ALL=(precision)) OR (ALL=(accuracy)))

Study Selection Process

The selection of articles included in this review was carried out in three successive phases. In the first stage, “Identification,” all articles not directly related to the central topic—namely those not addressing the photogrammetry technique or its comparison with other impression techniques (whether conventional or digital)—were excluded.

In the second phase, “Screening,” publications specifically focused on digital impressions (via intraoral scanner or photogrammetry) and conventional impressions in the context of full-arch implant-supported rehabilitations were selected.

In the third phase, “Eligibility,” studies that did not address impressions over implants in fully edentulous patients or that did not assess key parameters such as accuracy and precision were excluded.

Data Extraction

Relevant data were extracted from the selected studies and organized into tables, classifying the data based on the type of impression technique analyzed: photogrammetry, intraoral scanner, or conventional analog technique.

For each technique, information was collected on the authors and year of publication, type of study, number of patients and implants included, implant location and angulation, materials used, number of scans performed, reference model acquisition method, scanner or photogrammetry system brand, and deviations observed compared to the reference model.

Risk of Bias Assessment

Of the 10 studies reviewed, 7 were in vitro studies, and their risk of bias was assessed using the ARRIVE and CONSORT guidelines, adapted for in vitro research (see Table 3). The remaining 3 were randomized clinical trials evaluated using the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions.

According to the Cochrane criteria:

A low risk of bias was assigned when all evaluation criteria were met.

A high risk of bias was assigned when one or more criteria were not met, indicating a possible systematic error affecting the reliability of results.

An unclear risk of bias was assigned when there was insufficient information to make a judgment.

For in vitro studies: A low risk of bias was considered when $\geq 75\%$ of checklist items were met, A moderate risk of bias applied when 50–74% of items were met, A high risk of bias was assigned when less than 50% of items were fulfilled.

Data synthesis

With the aim of comparing the different outcome variables across the studies, the mean values of accuracy and precision for the various three-dimensional representation techniques of implants in edentulous arches (conventional impression, intraoral scanner, and photogrammetry) were selected according to each study group. The calculation of the weighed mean was found difficult because of lack of information regarding the number of scans and impressions in some of the studies.

RESULTS

Study Selection

A total of 199 articles were initially retrieved: Medline – PubMed (n = 106), SCOPUS (n = 69), Web of Science (n = 6), and 1 through manual search.

In the first screening phase, unrelated articles—those not discussing photogrammetry, implant-supported prostheses, or impression techniques—were excluded. Only studies measuring the accuracy and precision of conventional, digital, and photogrammetric methods were retained. This reduced the selection to 22 articles. Of these, 12 were excluded for

reasons detailed in Table 1. Ultimately, 10 studies met all inclusion criteria and were included in the systematic review.

Analysis of the Characteristics of the Reviewed Studies

This systematic review included 10 studies comparing the accuracy and precision of conventional impressions, intraoral scanning (IOS), and stereophotogrammetry (SPG) in full-arch implant rehabilitations. Seven in vitro studies showed that SPG consistently achieved the lowest linear and angular deviations. Clinical (in vivo) studies confirmed SPG's superior performance even under real conditions. One retrospective and one clinical trial further supported these findings. Overall, the evidence indicates that SPG is the most precise and reliable technique across both laboratory and clinical settings.

Quality Evaluation

In vitro studies assessed with the ARRIVE/CONSORT guidelines were classified according to the percentage of criteria fulfilled:

- Low risk of bias: studies that fulfilled $\geq 75\%$ of the checklist items, indicating strong methodological quality and minimal risk of systematic error.
- Moderate risk of bias: those fulfilling 50%–74%, suggesting acceptable methodology with some potential limitations.
- High risk of bias: studies with $< 50\%$ of fulfilled criteria, reflecting incomplete or poor methodology, which compromises the validity and clinical applicability of the results.

The 3 randomized clinical trials were evaluated using the Cochrane risk of bias tool:

- Low risk of bias if all items were fulfilled.
- High risk of bias if one or more items were not fulfilled.
- Unclear risk of bias if relevant information was missing.

Synthesis of Results

The results consistently showed that stereophotogrammetry (SPG) is the most accurate and precise technique among those analyzed. In the study by Liu et al., SPG yielded the lowest RMS values for both trueness ($21 \pm 4 \mu\text{m}$) and precision ($9 \pm 7 \mu\text{m}$), clearly below the $100 \mu\text{m}$ critical threshold defined by Ruiz (2002). In contrast, both conventional (CI) and intraoral scanning (IOS), particularly IOS, exceeded this limit, potentially jeopardizing passive fit. These findings were reinforced by Cheng et al., where SPG presented a mean

RMS of 41.1 μm , compared to 77.1 μm for IOS and 69.2 μm for CI. It also demonstrated minimal angular deviation of 0.13°, confirming its superiority in both linear and angular precision.

Ma et al. recorded a mean trueness of 24.45 μm and precision of just 2 μm for SPG—values not only within the mington standard but also below the stricter 10 μm threshold proposed by Brånemark for true passive fit. IOS and CI, by contrast, exceeded these limits.

Tohme et al. reported the lowest angular distortions and 3D deviations with SPG, with statistically significant differences ($p < 0.001$) compared to IOS and CI. Zhang et al. showed mean 3D deviations of $70 \pm 57 \mu\text{m}$ and angular deviations of 0.432°, with a precision of 5.6 μm for SPG versus 17.2 μm for CI—within clinically acceptable ranges (Ruiz et al.).

Nulty found that the “Shining 3D Elite” photogrammetric scanner outperformed even advanced IOS devices supported by mechanical guides like the Scan Ladder. Clinical trials by Pozzi et al. also confirmed better 3D (87.6 μm) and angular (0.38°) deviations for SPG compared to IOS (137.2 μm and 0.79°), all within clinically acceptable ranges.

DISCUSSION

The stereophotogrammetry (SPG) technique proved to be the most accurate among the three analyzed methods (SPG, intraoral scanner [IOS], and conventional impression [CI]). In terms of trueness, SPG presented RMS deviations as low as $21 \pm 4 \mu\text{m}$, compared to $88 \pm 21 \mu\text{m}$ for IOS and $35 \pm 18 \mu\text{m}$ for CI (Liu et al., 2024). Another study reported mean values of 41.1 μm for SPG, 77.1 μm for IOS, and 69.2 μm for CI (Cheng et al., 2024). Ma et al. confirmed an average trueness of 24.45 μm for SPG, compared to 43.45 μm for IOS and 28.70 μm for CI (Ma et al., 2021).

Regarding precision, SPG reached values of $9 \pm 7 \mu\text{m}$, versus $57 \pm 32 \mu\text{m}$ (IOS) and $36 \pm 26 \mu\text{m}$ (CI) (Liu et al., 2024). In other analyses, the average angular deviation was 0.08° for SPG, considerably lower than for IOS (0.61°) and CI (0.62°).

Clinical studies also demonstrated SPG’s superiority: a 3D deviation of 87.6 μm and angular deviation of 0.38°, compared to 137.2 μm and 0.79° for IOS (Pozzi et al., 2019). Zhang et al. reported a precision of 5.6 μm for SPG versus 17.2 μm for CI, and an angular deviation of 0.432°, again in favor of SPG.

All SPG values remained below the clinically accepted threshold of 100 μm , even falling below the 100 μm critical standard considered necessary for passive fit (Ruiz, 2002). These results position SPG as the most reliable and reproducible technique in both in vitro and clinical contexts. (23)

The review shows that stereophotogrammetry (SPG) not only excels in technical accuracy and precision but also offers significant clinical and operational advantages (9, 12, 14). Unlike intraoral scanning (IOS), which requires sequential imaging of each implant — leading to potential cumulative errors— SPG records the position and angulation of all implants simultaneously, significantly reducing error sources such as patient movement, moisture, or mucosal reflections (19, 20).

SPG is performed entirely extraorally, enhancing both operator ergonomics and patient comfort (9). Furthermore, its integration with other digital systems such as intraoral scanners, CBCT, and CAD/CAM software enables a complete and efficient digital workflow (12, 19). This interoperability places SPG within the framework of dentistry 4.0, which emphasizes standardization, efficiency, and patient-centered experiences (5, 19).

SPG's consistency across various clinical scenarios —including All-on-4 and All-on-6 rehabilitations— highlights its high reproducibility even in complex situations (9, 12). In contrast, both conventional techniques and IOS exhibit greater variability due to technical and human factors such as material handling, implant angulation, and arch length (14, 20).

From an operational standpoint, SPG allows for the registration of all implants in under five minutes, with no need for setting materials or waiting times, greatly enhancing clinical efficiency (9). This time and resource savings, combined with its reliability, make it a practical choice for both clinicians and patients.

Despite its advantages, widespread adoption of SPG still faces challenges: high initial equipment costs, a required learning curve, and limited availability in some practices (21). However, as seen previously with intraoral scanners, technological progress and growing demand for precision are expected to drive its broader implementation (21). Additionally, developments in complementary technologies —such as artificial intelligence and 3D printing— are strengthening SPG's central role in the digital transformation of modern implant dentistry (1).

CONCLUSION

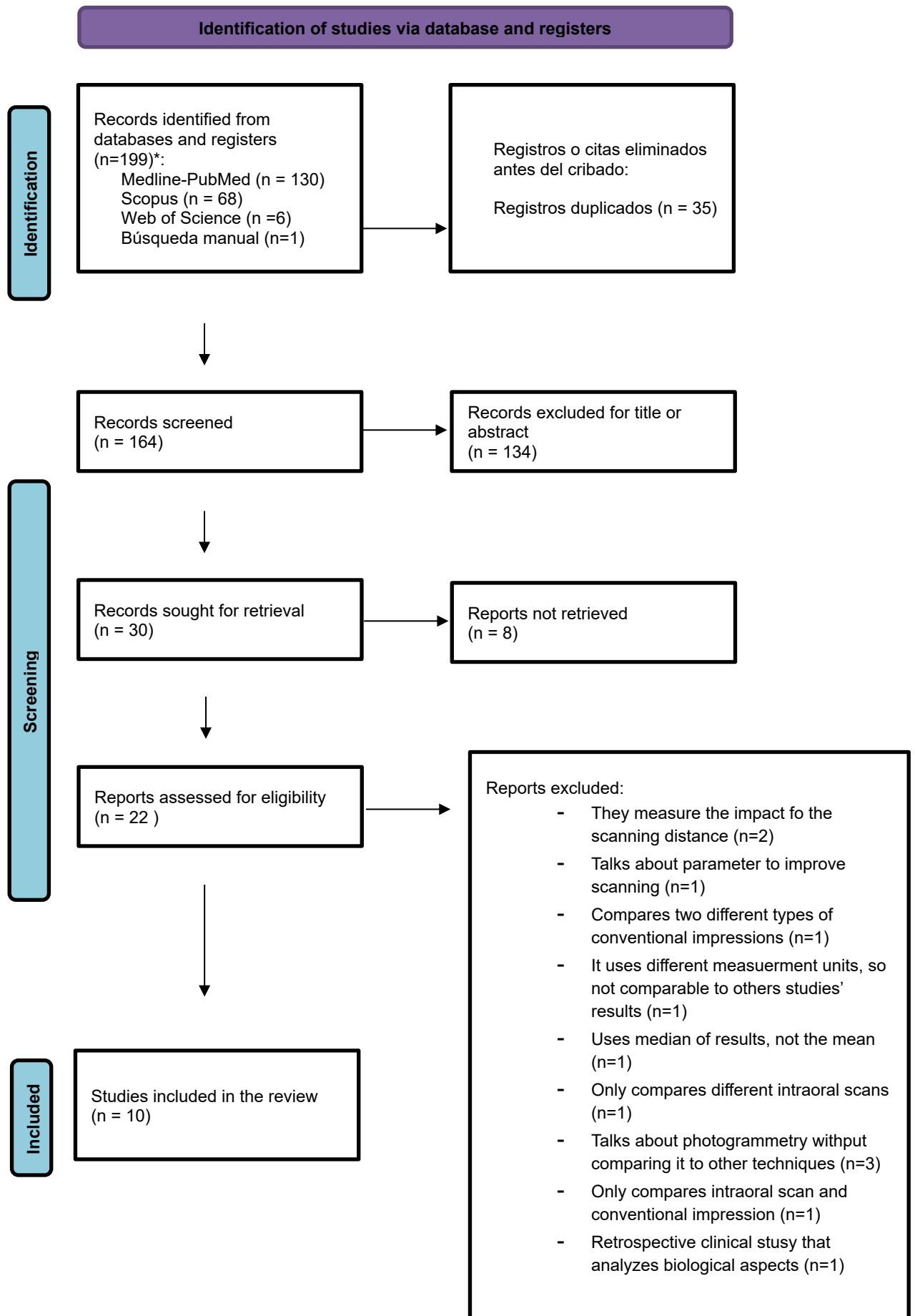
Stereophotogrammetry (SPG) has emerged as the most accurate and reliable technique for digital impressions in full-arch implant-supported rehabilitations, outperforming both conventional (CI) and intraoral scanning (IOS) in trueness and precision. Its ability to consistently achieve 3D deviations below the 100 μ m clinical threshold makes it the optimal choice for ensuring a secure and durable passive fit.

Beyond its technical benefits, SPG records the position and inclination of all implants simultaneously in an extraoral setting, reducing cumulative errors and enhancing both patient comfort and operator ergonomics. It also shortens the clinical workflow, integrates seamlessly with CBCT and CAD/CAM systems, and enhances the quality and efficiency of treatment.

Despite challenges related to cost, training, and access, SPG represents a transformative innovation in clinical philosophy—ushering in a more digital, efficient, and standardized dentistry model aligned with the core principles of Dentistry 4.0. Continued research is needed to standardize evaluation methods and strengthen the scientific basis supporting its widespread clinical adoption.

	TRUENESS			PRECISION		
IMPRESSION TECHNIQUE	CI	IOS	SPG	CI	IOS	SPG
Liu et al. (9)	3D Deviation: 72± 60 µm Angular deviation: 0.40± 0.40° RMS 3D deviation: 35± 18	3D Deviation: 168± 133 µm Angular deviation: 0.43±0.34° RMS 3D deviation: 88+/- 21	3D Deviation: 35± 19 µm Angular deviation: 0.25± 0.16° RMS 3D deviation: 21±4	3D Deviation: 73±84 µm Angular deviation: 0.33±0.5° RMS 3D deviation: 36± 26	3D Deviation: 100± 122 µm Angular deviation: 0.29± 0.26° RMS 3D deviation: 57± 32	3D Deviation: 10± 10 µm Angular deviation: 0.07±0.08 RMS 3D deviation: 9±7
Cheng et al. (12)	Mean Error RMS: 87.3 Angular deviation: 0.56°	Mean Error RMS: 79.6 Angular deviation: 0.69°	Mean Error RMS: 69.2 Angular deviation: 0.39°	Mean Error RMS: 77.1 Angular deviation: 0.4°	Mean Error RMS: 59.2 Angular deviation: 0.30°	Mean Error RMS: 41.1 Angular deviation: 0.16°
Zhou et al. (14)	3D deviation: 47 µm Angular deviation: 0.74°	-	3D deviation: 147 µm Angular deviation: 0.82°	-	-	-
Tohme et al. (15)		RMS 3D Deviation: 53.6±63.0 µm Angular deviation: 1.744±0.175°	RMS 3D Deviation: 78±1 µm Angular deviation: 0.724±0.064°		RMS 3D Deviation: 39±9 µm	RMS 3D Deviation: 14± 13 µm
Nulty et al. (21)		3D Deviation: 48.1 µm	3D Deviation: 18.7 µm			
Ma et al. (19)	3D Deviation: 29.75 µm	3D Deviation: 43.78 µm	3D Deviation: 24.43 µm	3D Deviation: 29.72 µm	3D Deviation: 37.07 µm	3D Deviation: 2.32 µm
Pozzi et al. (5)		3D Deviation: 137.2 Angular deviation: 0.79	3D Deviation: 87.6 Angular deviation: 0.38			

Tohme et al. (20)	RMS	3D	RMS	3D	RMS	3D	RMS	3D	RMS	3D	RMS	3D
	Deviation:		Deviation:		Deviation:		Deviation:		Deviation:		Deviation:	
	115±37 μm		148±61 μm		88±6 μm		103±24 μm		63±35 μm		2±1 μm	
	Angular		Angular		Angular		Angular		Angular		Angular	
	deviation:		deviation:		deviation:		deviation:		deviation:		deviation:	
	0.922±0.194 °		1.081±0.348°		0.809±0.005°		1.142±0.296°		0.221±0.088°		0.010±0.011°	
Zhang et al. (22)					3D							
					Deviation:							
					10+-57							
					Angular							
					deviation:							
					0.432±0.348							
Bergin et al. (3)							3D Deviation:				3D Deviation:	
							26.2				28.8	



	Tohme et al.	Zhou et al.	Cheng et al.	Ma et al.	Liu et al.	Tohme et al.	Bergin et al.
<i>Clear title and abstract</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Introduction with rational context</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Declared objectives</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Described experimental design</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Presence of experimental controls</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Justification of the sample</i>	0	0	0	0	1	1	1
<i>Randomization</i>	0	0	1	0	0	0	0
<i>Blind</i>	0	0	1	0	0	0	0
<i>Detailed materials and methods</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Adequate statistical analysis</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Clear and complete results</i>	1	1	1	1	1	1	1

<i>Experiment repeatability</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Limits discussion</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Conclusion based on dataS</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Transparency</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Risk of bias</i>	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low

Tabla 4

	Nulty	Pozzi et al.	Qian et al.
<i>Bias due to confusion</i>	Moderate	Moderate	Moderate
<i>Bias in the selection de los participantes</i>	Low	Low	Low
<i>Bias in the classification of interventions</i>	Low	Low	Low
<i>Bias due to participants</i>	Low	Low	Low
<i>Bias in the management of missing data</i>	Low	Low	Low
<i>Bias in the measurement of the results</i>	Moderate	Moderate	Moderate
<i>Bias in the selection of the exposed results</i>	Moderate	Moderate	Moderate
<i>Rlsk of bias</i>	Moderate	Moderate	Moderate

BIBLIOGRAFIA

1. Bidra AS, AlHelal A, Rungruanganunt P. Recent advances in digital technology in implant dentistry. *J Prosthet Dent*. 2024.
2. Agarwal S, Ashok V, Maiti S, Agarwal V. Dentists' Preference toward Fixed Versus Removable Implant Prosthesis on Edentulous Jaws to Improve Quality of Life. *J Long Term Eff Med Implants*. 2022;33(1):83-89. doi: 10.1615/JLongTermEffMedImplants.2022038746. PMID: 36382708.
3. Bergin JP, Rubenstein JE, Mancini L, Brudvik JS, Raigrodski AJ. An in vitro comparison of photogrammetric and conventional complete-arch implant impression techniques. *J Prosthet Dent*. 2013;110(4):243–251.
4. Revilla-León M, et al. Intraoral digital implant scans: Parameters to improve accuracy. *J Prosthodont*. 2023.
5. Pozzi A, Tallarico M, Moy PK. All-on-four rehabilitation using photogrammetric impression technique. *J Oral Implantol*. 2019;45(3):224–230.
6. Lin WS, Harris BT, Phasuk K, Morton D. Characteristics of intraoral scan bodies and their influence on impression accuracy: A systematic review. *J Esthet Restor Dent*. 2022;34(2):245–254.
7. Geng W, Ma B, Yue X, Sun Y, Peng L. Accuracy of intraoral scan with prefabricated aids and stereophotogrammetry compared with open tray impressions for complete-arch implant-supported prosthesis: A clinical study. *J Prosthet Dent*. 2023.
8. Mahmoud AM, ElShenawy MH, El-Anwar MI. Accuracy of different digital data acquisition workflows for full arch maxillary implant prostheses (an in vitro study). *Egypt Dent J*. 2023.
9. Liu M, Fu XJ, Lai HC, Shi JY, Liu BL. Accuracy of traditional open-tray impression, stereophotogrammetry,

- and intraoral scanning with prefabricated aids for implant-supported complete arch prostheses with different implant distributions: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2024.
10. Salmi M, et al. The Accuracy of Open-Tray vs. Snap-on Impression Techniques in a 6-Implant model: An In Vitro 3D Study. *Materials (Basel)*. 2022;15(6):2103.
 11. Dental Avenue. What makes addition silicone different from other silicone impression materials? Mohan M, Pai AR, Kamath G, Pai RA, Rao G, Thomas M. Implant Impression Techniques using Different Materials and Methods: A Review. *J Clin Diagn Res*. 2022;16(2):ZE01-ZE05. doi:10.7860/JCDR/2022/53057.16014.
 12. Cheng J, Zhang H, Liu H, Li J, Wang HL, Tao X. Accuracy of edentulous fullarch implant impression: An in vitro comparison between conventional impression, intraoral scan with and without splinting, and photogrammetry. *Clin Oral Implants Res*. 2024.
 13. Silva J, Oliveira S, Rocha E. Impact of scanning distance on the accuracy of a photogrammetry system. *J Prosthet Dent*. 2024.
 14. Zhou Y, You L, Fan Z. Accuracy of implant abutment level digital impressions using stereophotogrammetry in edentulous jaws: An in vitro pilot study. *BMC Oral Health*. 2024;24:1167.
 15. Tohme H, Lawand G, Eid R, Ahmed KE, Salameh Z, Makzoume J. Accuracy of Implant Level Intraoral Scanning and photogrammetry Impression Techniques in a Complete Arch with Angled and Parallel Implants: An In Vitro Study. *Appl Sci*. 2021;11(21):9859.
 16. Carosi P, Pozzi A, Gallucci GO, et al. Immediate full-arch rehabilitation of edentulous jaws on 4 or 6 implants using a photogrammetry system: A retrospective study up to 2 years of follow-up. *J Prosthet Dent*. 2024.
 17. Revilla-León M, et al. Trueness and precision of complete-

- arch photogrammetry implant scanning assessed with a coordinate-measuring machine. *J Prosthet Dent*. 2021.
18. González-Medina P, Revilla-León M, et al. Intraoral scanning and dental photogrammetry for full-arch implant-supported prosthesis: A technique. *J Prosthodont Res*. 2023.
 19. Ma L, Ma Y, Jing Y, Zhang Y, Li W, Lin Y. Accuracy of photogrammetry, intraoral scanning, and conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation: an in vitro comparative study. *Int J Implant Dent*. 2021;7(1):102. doi:10.1186/s40729-021-00383-1
 20. Tohme Y, Nammour S, Aboujaoude S, El Hage M, Dib A, Makzoumé JE. Accuracy of intraoral digital scanning and photogrammetry on completely edentulous arches for implant-supported fixed prostheses: A clinical study. *J Prosthet Dent*. 2024 Apr;131(4):598–605. doi:10.1016/j.prosdent.2023.08.01
 21. Nulty AB. An in vivo comparison of trueness and precision of two novel methods for improving edentulous full arch implant scanning accuracy: a pilot study. *Dent J (Basel)*. 2024 Nov 18;12(11):367. doi:10.3390/dj12110367.
 22. Zhang YJ, Qian SJ, Lai HC, Shi JY. Accuracy of photogrammetric imaging versus conventional impressions for complete-arch implant-supported fixed dental prostheses: A comparative clinical study. *J Prosthet Dent*. 2023 Aug;130(2):212–8. doi:10.1016/j.prosdent.2021.09.035
 23. Contreras EF, Henriques GE, Giolo SR, Nobilo MA. Fit of cast commercially pure titanium and Ti-6Al-4V alloy crowns before and after marginal refinement by electrical discharge machining. *J Prosthet Dent*. 2002 Nov;88(5):467-72. doi: 10.1067/mpr.2002.128954. PMID: 12473994.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutora, Natalia, por haberse comprometido con la elaboración de esta tesis y por estar siempre dispuesta a ayudarme con dedicación y valiosos consejos, demostrando una atención por la que solo puedo estar profundamente agradecido;

A Filo e Drew, i miei coinquilini di sempre, che hanno reso questi cinque anni sempre vivi e pieni; che sono diventati, per me, famiglia e grazie ai quali sento di essermi arricchito, umanamente e affettivamente. Il tempo sa creare legami indissolubili e ho la sicurezza che questi non facciano eccezione alcuna;

A Tom, Jack e Nik, i cui mille momenti insieme, in università e non, mi hanno regalato memorie indelebili. Hanno contribuito nello scandire le giornate, le settimane, i mesi e gli anni in questa città, entrando a fare parte della mia vita quotidiana. Vita quotidiana che sentirà la mancanza di persone che posso considerare fratelli per la vita.

A Robi, Chia, Benni e Fra per essere sempre state presenti, sia che ci fosse bisogno di una risata, di un sorriso, di un consiglio o di dritte universitarie e per avere spesso fatto da mamme a tutti noi. La vostra dolcezza, affetto e disponibilità infinita mi ha reso fiero e fortunato di avervi potute vivere all'ordine del giorno e lo spazio che vi siete fatte nel mio cuore resterà sempre vostro;

Ai ragazzi della Paola, i quali, ogni volta che li rivedo, mi fanno capire quanto un'amicizia non sia condizionata da distanza e che, quando le cose sono giuste e vere, non cambiano mai;

A Nic, Lollo e il Bond, fratelli e certezze da quando sono bambino, coi quali mi sento sempre nel posto giusto, qualunque esso sia, e sulla quale amicizia autentica so che potrò contare sempre.

A Michi, per quattro di questi cinque anni, durante i quali mi ha insegnato cosa vuol dire essere disposti a dare sé stessi per qualcosa che si ha a cuore, che ha sempre messo il supporto nei miei confronti al primo posto e che ha saputo rendere splendidi i momenti belli e più facili i momenti difficili con la sua vicinanza e il suo infinito affetto;



A Frenci, che da sempre rappresenta un'ispirazione, la quale mi spinge sempre a guardare e scavare dentro di me per tirare fuori la parte migliore;

A nonno e nonna, i quali occhi e sorriso, dopo tanto tempo lontani, mi ricordano il vero significato di Casa ogni volta che ci torno;

A mamma e papà, che non mi hanno mai fatto mancare il loro completo supporto, il loro infinito affetto e la loro attenzione, sia nei momenti belli e soddisfacenti che, soprattutto, in quelli più complicati, rendendomi consapevole del fatto che il miglior modo per ripagare gli sforzi di qualcuno che vuole il tuo bene è dare tutto quello che si ha, senza tirarsi indietro, e che bisogna fare tesoro di tutto quello che succede nella propria vita, per poter sempre ambire a una versione migliore di sé stessi. Non potendo esprimere la mia gratitudine sufficientemente col solo uso delle parole, lo farò mostrandovi i frutti della vostra perenne e instancabile semina,

A Me stesso. Bravo. Non fermarti.