



**Universidad
Europea**

**Influencia del diseño y el material de los
scanbodies en la precisión y exactitud de
los escaneados de arcadas completas
sobre implantes con escáneres intraorales**

Tutorizado por Dr. Pablo Gómez Cogolludo

Alumno: Eduardo Barreto García

**Máster Universitario de Prótesis, Implantoprótesis y
Estética Dental de la Universidad Europea de Madrid**

Resumen:

El objetivo de este estudio fue evaluar la precisión y exactitud de diferentes tipos de scanbodies o pilares de impresión digitales (PID) para la localización tridimensional de implantes en arcadas completas edéntulas. Se compararon dos diseños de scanbodies:

- Metálicos de titanio (IBO)
- Plásticos PEEK con base mecanizada (IPD).

Para ello, se realizaron 16 escaneados por operador empleando dos escáneres intraorales (TRIOS 3 de 3Shape® y Primescan de Sirona®), cuyas mediciones se contrastaron con un modelo maestro obtenido mediante un escáner extraoral de laboratorio, considerado Gold Estándar.

Las mediciones tridimensionales se analizaron mediante el cálculo de las distancias euclídeas entre implantes utilizando Geomagic®, evaluando la precisión (repetibilidad) y la exactitud (proximidad al modelo maestro). Los resultados demostraron diferencias significativas en función del material del scanbody y del escáner intraoral empleado. Los scanbodies de PEEK mostraron menor magnitud de error tridimensional que los metálicos, mientras que el escáner TRIOS 3 obtuvo valores más precisos que Primescan en todas las condiciones. El operador no mostró una influencia significativa, presentando ambos una reproducibilidad excelente ($ICC > 0.98$). Se observó además una interacción significativa entre material del scanbody y tipo de escáner.

Se concluye que la combinación PEEK + TRIOS 3 ofrece el mejor rendimiento global en este estudio in vitro. Estos hallazgos refuerzan la importancia de seleccionar adecuadamente tanto el material del scanbody como la tecnología de escaneado para optimizar los resultados en rehabilitaciones implantoportadas de arcada completa.

Abstract:

The aim of this study was to evaluate the precision and trueness of different types of scanbodies or digital impression posts (DIP) used to determine the three-dimensional position of implants in a completely edentulous maxillary arch. Two scanbody designs were compared:

- Titanium metallic scanbodies (IBO)
- PEEK scanbodies with a machined base (IPD).

A total of 16 scans per operator were performed using two intraoral scanners (TRIOS 3 by 3Shape® and Primescan by Sirona®). All measurements were compared with a master model obtained using a laboratory extraoral scanner, considered the Gold Standard.

Euclidean distances between implants were calculated using Geomagic® software to assess precision (repeatability) and trueness (agreement with the reference model). Significant differences were found according to both scanbody material and scanner type. PEEK scanbodies demonstrated lower three-dimensional error values compared to metallic scanbodies, while TRIOS 3 consistently outperformed Primescan in all conditions. Operator influence was not significant, with both operators showing excellent reproducibility (ICC > 0.98). A significant interaction effect between scanbody material and scanner type was also observed.

Within the limits of this in vitro study, the combination of PEEK scanbodies and TRIOS 3 provided the best overall performance. These findings highlight the importance of selecting both the appropriate scanbody material and intraoral scanning technology to optimize outcomes in complete-arch implant-supported rehabilitations.

Palabras Clave:

Escáner intraoral; Pilar de impresión digital; Exactitud; Precisión; escáner extraoral; Maxilar edéntulo; Odontología digital.

Key Words:

Intraoral scanner; Digital impression post; Trueness; Precision; extraoral scanner; Edentulous maxilla; Digital dentistry.

Índice:

1. Introducción:	1
2. Objetivos:	5
2.1 Objetivo general:.....	5
2.2 Objetivos específicos:	5
3. Hipótesis:.....	5
- Hipótesis nula (H0):.....	5
- Hipótesis alternativa (H1):.....	5
4. Variables establecidas en el estudio:	5
Variable principal:.....	5
Variables secundarias:.....	5
5. Justificación del estudio:	6
6. Material y Métodos	11
6.1 Diseño del Estudio Clínico:.....	11
6.2 Procedimiento:	12
6.3 Análisis Estadístico:.....	15
7. Descripción de los materiales utilizados:.....	15
8. Protocolo de escaneados y registro de datos	18
9. Resultados.....	21
10. Discusión.....	25
11. Limitaciones del estudio	29
12. Conclusiones	30
13. Bibliografía y referencias.....	31

1. Introducción:

La rehabilitación implantosoportada representa un gran avance en la odontología moderna, proporcionando soluciones funcionales y estéticas para pacientes parcial o totalmente edéntulos. Desde su introducción, el éxito de estos tratamientos ha estado vinculado a la precisión y exactitud en la transferencia de la posición tridimensional de los implantes al entorno clínico y de laboratorio^{1,2}. Este proceso, denominado impresión digital o convencional, es crítico para garantizar un ajuste pasivo en la estructura protésica final, lo que a su vez desemboca en la longevidad y función de la rehabilitación³.

En los últimos años, el desarrollo de tecnologías digitales ha transformado significativamente la manera en que se obtienen y procesan las impresiones dentales. Entre estas, los escáneres intraorales (IOS) han adquirido una alta importancia debido a su capacidad para proporcionar registros precisos y detallados, al tiempo que mejoran la comodidad del paciente⁴. Sin embargo, la precisión de los IOS depende de diversos factores, incluyendo la experiencia del operador, las condiciones clínicas, la tecnología que utilice cada escáner intraoral (microscopía confocal o triangulación activa), la angulación o no que puedan tener los implantes colocados en boca y, de manera destacada, las características de los *scanbodies* o Pilares de Impresión Digitales (PID) utilizados durante el proceso de registro⁵.

Los *scanbodies* son componentes esenciales en el flujo de trabajo digital, diseñados para transferir la posición del implante desde la cavidad oral al modelo digital. Su diseño geométrico y el material del que están fabricados tienen un impacto directo en la calidad de la información capturada por el escáner. Se han investigado distintos tipos de *scanbodies*, que incluyen aquellos fabricados en metal, plásticos PEEK con base mecanizada y plásticos completos. Además, recientes innovaciones han introducido *scanbodies* personalizados que aumentan el área de escaneo disponible, mejorando potencialmente la captura de datos^{6,7}.

Estudios previos como el de Mangano (2020), Mizumoto (2019), Alikhasi (2018) o el de Kim et al (2021) han analizado la exactitud y precisión de los *scanbodies* en diferentes condiciones. La exactitud, definida como la cercanía de una medición al valor real o Gold Estándar, y la precisión, que evalúa la consistencia entre mediciones repetidas, son parámetros críticos para garantizar resultados confiables en odontología digital⁸. Sin embargo, las variaciones en las propiedades ópticas y mecánicas de los *scanbodies*, así

como la tecnología empleada por los IOS, pueden influir significativamente en estos resultados⁹.

La metrología moderna ofrece herramientas avanzadas para la validación de los registros digitales. Entre ellas, destacan principalmente la fotogrametría extraoral, las máquinas de mediciones de coordenadas y los escáneres extraorales. En este presente estudio, utilizaremos el escáner extraoral por la facilidad de comunicación y obtención de los resultados, por rapidez de uso y por contrastado funcionamiento como puede ser el artículo de F. Ferrini et al., del 2024 en el que realizaron una evaluación in vitro de varios escáneres intraorales en un modelo de arcada completa sobre implantes y utilizaron un escáner de laboratorio para comparar la exactitud¹⁰. La comparación de registros obtenidos con IOS frente a los datos proporcionados por el escáner extraoral de laboratorio permite evaluar de manera objetiva la exactitud y precisión de diferentes configuraciones de *scanbodies* y escáneres¹¹.

En este contexto, el presente estudio se centra en la evaluación de la precisión y exactitud de diferentes tipos de *scanbodies* en función de su morfología y material:

- Scanbodies metálicos de titanio.
- Scanbodies plásticos (PEEK) con base mecanizada

Por otro lado, en el estudio se utilizará un modelo de trabajo vaciado en escayola tipo IV con encía de silicona y con análogos de pilar intermedio tipo multi-unit:

- Un modelo con 6 análogos repartidos de forma uniforme y paralelos entre sí.

Los registros se obtendrán utilizando dos escáneres intraorales distintos, y se realizarán mediciones repetidas para evaluar la consistencia de los resultados. Posteriormente, los datos serán validados mediante el escáner extraoral, permitiendo establecer comparaciones directas y aportar datos útiles para la práctica clínica.

El objetivo final es generar evidencia que oriente a los clínicos y técnicos de dentales en la selección de *scanbodies* y tecnologías de escaneo, optimizando así los resultados de las rehabilitaciones implantosoportadas. Además, los hallazgos podrán contribuir al desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas y protocolos que mejoren la predictibilidad y eficiencia de los tratamientos.

Por otro lado, cabe mencionar que desde la creación de los *scanbodies* y de los escáneres intraorales, han aparecido estudios que han evaluado estos componentes en función de su material, morfología y compatibilidad con los sistemas digitales, explorando cómo estos factores impactan en la precisión y exactitud de los resultados.

En cuanto al **material** de los *scanbodies*, un estudio de Chiu et al. (2021) evaluó la precisión de los metálicos y los plásticos con base mecanizada en la obtención de impresiones digitales. Encontraron que los pilares de impresión digital metálicos presentaban una mayor exactitud debido a su estabilidad dimensional y capacidad para reflejar la luz de los escáneres intraorales¹². Pero, por otro lado, Mangano et al. (2019) demostraron que los *scanbodies* de PEEK con base mecanizada ofrecían resultados competitivos respecto a los metálicos, especialmente en condiciones de escaneo difíciles¹³.

A lo que a la **morfología** de los *scanbodies* se refiere, Lee et al. (2020) investigaron cómo las diferencias en la forma y el diseño de los *scanbodies* afectan la captación de datos por parte de los escáneres. Su estudio concluyó que los *scanbodies* con diseños más altos y superficies bien definidas mejoran la detección y reducen la pérdida de datos durante el escaneo¹⁴. Y, en 2022, Aragón et al. exploraron nuevos diseños con levas para ampliar el área de escaneo. Estos *scanbodies* permitieron una mejor captura de las zonas críticas como las partes edéntulas del paciente, reduciendo errores de alineación en las reconstrucciones de las mallas tridimensionales¹⁵.

También, se debe tener en cuenta que existen estudios sobre los diferentes escáneres intraorales, que muestran que no todos son iguales y que difieren en características que pueden provocar que tengamos mayor o menor exactitud en nuestros resultados. La dra. Revilla-León et al. (2017)¹⁶ compararon tres escáneres intraorales comerciales y encontraron diferencias significativas en precisión y exactitud. Los sistemas basados en tecnología láser mostraron mejor desempeño en la captación de detalles pequeños, mientras que los de luz estructurada destacaron en la cobertura de áreas más grandes¹⁶. Ender y Mehl (2020) confirmaron estos hallazgos y destacaron que factores como la técnica de escaneo y la experiencia del operador también influyen considerablemente en los resultados¹⁷.

Otro artículo reciente de Kois y Revilla-León (2024) analiza cómo los escáneres intraorales, la angulación del captador, la distancia de escaneo y la experiencia del

operador influyen en el archivo resultante. Se observó que los escaneados con angulaciones de 15° y 45° permiten capturar mayores áreas que otras angulaciones como pueden ser de 0° o de 30°. Aparte, los escáneres que obtuvieron mejores resultados fueron TRIOS4 e iTero. Con esta información, también es importante recalcar que la habilidad del operador, especialmente en mantener una distancia y angulación adecuadas, influye significativamente en los resultados del escaneo intraoral²⁶.

Finalmente, también es importante conocer estudios previos acerca de la compatibilidad *escáner-scanbody* y Flügge et al. (2021) analizaron cómo la compatibilidad entre escáneres y *scanbodies* influye en los registros digitales. Su trabajo subrayó que los sistemas diseñados para trabajar conjuntamente (por ejemplo, escáneres y *scanbodies* del mismo fabricante) tienden a generar resultados más precisos y consistentes¹⁸. En un estudio posterior, Lin et al. (2023) concluyeron que los escáneres con algoritmos optimizados para superficies complejas (como los *scanbodies* metálicos) pueden reducir significativamente los errores de reconstrucción¹⁹.

Al igual que las impresiones analógicas convencionales, existen diferentes formas que buscan que el modelo de trabajo sea lo más fiel posible a la realidad del paciente en boca. Esto se puede conseguir de diferentes formas y en la odontología actual digital tan avanzada hay múltiples formas. Una de ellas, consiste en ferulizar los *scanbodies*. En el estudio realizado por Azevedo et al. (2024) se habla mucho sobre esta técnica y compara impresiones digitales realizadas a arcada completa ferulizando o no ferulizando los *scanbodies*. Al final se observa que el efecto de la ferulizar genera un menor error en la malla resultante, ya que esa ferulización (en el estudio realizada con acrílico autopolimerizable) ayuda al escáner a no perderse tanto en zonas edéntulas de tejido blando y a no generar una malla errónea que pueda comprimir o expandir la distancia interimplantaria y que posteriormente haya un problema en el asentamiento de la prótesis y en la pasividad de esta²⁷.

Como conclusión de la revisión introductoria, la literatura actual destaca que la **precisión** y **exactitud** de las impresiones digitales dependen de una combinación de factores, incluyendo el material, diseño, y compatibilidad de los *scanbodies*, así como la tecnología empleada en los escáneres intraorales y ayudas que podamos generar a esas tecnologías como el efecto de ferulizar o no los *scanbodies*. Aunque los *scanbodies* metálicos han sido considerados como el estándar, los avances en materiales como el PEEK y nuevos diseños han ampliado las opciones disponibles. Por otro lado, la elección

del escáner sigue siendo de vital importancia, especialmente en casos clínicos complejos, donde la interacción con los *scanbodies* juega un papel muy significativo.

2. Objetivos:

2.1 Objetivo general:

Comparar precisión y exactitud de distintos *scanbodies* usando dos escáneres intraorales, en comparación con un escáner extraoral de laboratorio como Gold Estándar.

2.2 Objetivos específicos:

- Evaluar cada tipo de scanbody (metálico y plástico PEEK con conexión metálica).
- Comparar las mediciones obtenidas por dos operadores.
- Analizar las diferencias de precisión y exactitud entre los escáneres intraorales.

3. Hipótesis:

- **Hipótesis nula (H0):** No existen diferencias significativas en la precisión y exactitud entre los *scanbodies* intraorales evaluados con diferentes escáneres.
- **Hipótesis alternativa (H1):** Existen diferencias significativas en la precisión y exactitud entre los *scanbodies* intraorales evaluados con diferentes escáneres.

4. Variables establecidas en el estudio:

Variable principal:

- Precisión y exactitud del escaneado (discrepancias lineales).

Variables secundarias:

- Diseño del *scanbody*.
- Tipo de escáner intraoral utilizado.

Pregunta PICO (Aunque en nuestro caso al ser un estudio in vitro y no una revisión sistemática no es estrictamente necesario hacerla):

- **P (Population):** Modelo de trabajo con 6 implantes en arcada superior.
- **I (Intervention):** Escaneados con los diferentes tipos de *scanbodies* y escáneres intraorales.
- **C (Comparison):** Comparación de los resultados con el escáner extraoral de laboratorio como Gold Estándar.

- **O (Outcome):** Precisión y exactitud de los escaneados en función de la morfología y material de los *scanbodies*.

"¿Cuál es la precisión y exactitud de diferentes *scanbodies* según su morfología y material, utilizando escáneres intraorales y comparándolos con un escáner extraoral de laboratorio?"

5. Justificación del estudio:

Durante los últimos años, la odontología y, por consiguiente, la prótesis dental ha experimentado una transformación significativa con la incorporación de tecnologías digitales, que permiten obtener resultados más rápidos, precisos, cómodos y personalizados para los pacientes. Una de las herramientas más destacadas dentro de este avance es el escáner intraoral, que reemplaza las tomas de medidas de impresiones convencionales, reduciendo tiempos de trabajo y mejorando la experiencia del paciente. Sin embargo, la precisión de estos escáneres depende de diversos factores, entre los que se encuentran los *scanbodies* (PID) utilizados para registrar la posición de los implantes en el modelo.

Actualmente, existen numerosos artículos que analizan los escáneres intraorales, ya sea de su tecnología, sus usos prácticos o de la morfología y el material de los PID en la exactitud de los resultados obtenidos. Además, la experiencia del operador también podría ser un factor relevante en los resultados obtenidos. La elección del PID adecuado podría tener un impacto crucial en la precisión y exactitud de la localización de los implantes, lo cual es fundamental para el éxito del tratamiento en rehabilitaciones sobre implantes.

Este estudio tiene como objetivo evaluar la precisión y exactitud de diferentes tipos de *scanbodies* (completamente metálicos y de poliéter-éter-cetona (PEEK) con base mecanizada), mediante la comparación con las mediciones realizadas en un modelo maestro obtenido a través de un escáner extraoral (considerado el Gold Estándar en este estudio). En la actualidad, los *scanbodies* pueden ser componentes monolíticos manufacturados o una serie de combinaciones de diferentes materiales como aleaciones de titanio, de aluminio, diferentes tipos de poliéteres o de distintas resinas. El diseño está compuesto por dos unidades principales: La región de escaneado y la base³⁰. La superficie

del scanbody es la zona más importante ya que es aquella parte que el escáner detecta y que posteriormente con el uso de softwares de diseño alinea correctamente con librerías y nos permite crear cada tipo de prótesis para su ajuste correcto con el implante adecuado. Para que esa alineación sea lo más exacta posible, a lo largo de los años se han desarrollado scanbodies en los que sus superficies difieren del resto tanto en forma, diseño, material o tamaño. Todo esto está influenciado por las propiedades ópticas de los escáneres intraorales en términos de cuántos puntos de referencia son capaces de recoger y que luego se genere una malla lo más fiel posible a la realidad y la alineación con el software sea lo más correcta posible. Por otro lado, está la base del scanbody, cuya función consiste en permitir que el propio pilar de impresión digital se pueda atornillar al implante o al pilar intermedio que se haya colocado. Existen muchos materiales de los que pueden estar realizadas las bases de los scanbodies, todos ellos para un buen ajuste y evitar un desgaste durante el atornillado y desatornillado continuo con los implantes^{31, 32}. Muchos problemas con las bases de los scanbodies vienen por su reflexión de la luz, ya que son metálicas pulidas y pueden perjudicar la captación óptica de los escáneres intraorales, obligando a tener que escanear mucho la misma zona y aumentando la probabilidad de superposición de mallas y discrepancias con la realidad. Para ello, se han creado técnicas como puede ser asperizar o arenar esa misma zona y así formar una superficie mate que no refleja destellos ni dificulta su escaneado. La geometría de los scanbodies también puede variar mucho desde formas esféricas a cilíndricas o nuevos diseños que van apareciendo con diseños personalizados que permiten aumentar el área de escaneado. Finalmente, los scanbodies pueden variar también en altura y las casas comerciales suelen realizarlos de entre 3-17mm^{32, 33}.

Dentro de las limitaciones que tienen los escáneres intraorales se encuentra la dificultad de captar imágenes cuando existen reflejos o destellos dentro de la cavidad oral. Una de las principales causas es la existencia de saliva y de tejidos blandos que generan esas imágenes destellantes que el captador del escáner no puede obtener de la mejor forma posible. Esto provoca interrupción del escaneado, superposición de imágenes, compresión o expansión de malla resultante. Por otro lado, cuando se escanea a un paciente parcialmente edéntulo es más fácil que el escaneado sea más fiel a la realidad ya que el escáner intraoral tiene puntos de referencia como son los dientes, a diferencia de cuando se escanea a un paciente completamente edéntulo³⁴.

La comparación de estos resultados con los obtenidos mediante dos tipos de escáneres intraorales diferentes permitirá analizar tanto el impacto de los distintos diseños de los scanbodies, como la manera en la que la experiencia del operador puede afectar a los resultados.

Tecnología de los escáneres intraorales:

El escáner intraoral (IOS) es un dispositivo médico compuesto por una cámara de mano (hardware), un ordenador y un software. El objetivo del IOS es registrar con precisión la geometría tridimensional de un objeto. El formato digital más utilizado es el **STL** abierto (Standard Tessellation Language) o un STL bloqueado similar. Este formato ya se emplea en muchos campos industriales y describe una sucesión de superficies trianguladas, donde cada triángulo está definido por tres puntos y una superficie normal⁽²⁰⁾.

Sin embargo, se han desarrollado otros formatos de archivo para registrar el color, la transparencia o la textura de los tejidos dentales (como el formato de archivo Polygon File Format, **PLY**). Independientemente del tipo de tecnología de imagen empleada por el IOS, todas las cámaras requieren la proyección de luz, que luego es registrada como imágenes individuales o video y posteriormente compilada por el software tras el reconocimiento de los puntos de interés⁽²⁰⁾.

Las dos primeras coordenadas (x e y) de cada punto se evalúan en la imagen, mientras que la tercera coordenada (z) se calcula en función de la tecnología de medición de distancia al objeto utilizada por cada cámara entre los que se encuentran:

- **Triangulación activa:** Basada en el principio de que la posición de un punto de un triángulo (el objeto) puede calcularse conociendo las posiciones y los ángulos de dos puntos de vista. Estos dos puntos de vista pueden generarse mediante dos detectores, un único detector utilizando un prisma, o capturarse en dos momentos diferentes.
- **Microscopía confocal:** Una técnica basada en la adquisición de imágenes enfocadas y desenfocadas desde profundidades seleccionadas. Esta tecnología puede detectar el área de nitidez de la imagen para inferir la distancia al objeto, lo que está correlacionado con la longitud focal de la lente. Luego, el objeto escaneado puede ser reconstruido mediante imágenes sucesivas tomadas a diferentes enfoques y valores de apertura, desde diferentes ángulos alrededor del

objeto. El área de nitidez está directamente relacionada con la destreza del operador, quien puede generar desenfoque por movimiento, y esta técnica también requiere ópticas grandes, lo que puede llevar a dificultades en la práctica clínica ⁽²⁰⁾.

Richert et al (2017), en este mismo artículo se habla mucho acerca de los valores de precisión y exactitud de los distintos escáneres intraorales y de sus tecnologías. Afirma que el método de medición contribuye a la variabilidad de la veracidad y precisión informada para el IOS, ya que depende de aspectos como el operador, el equipo utilizado y su calibración, el tiempo transcurrido entre mediciones y el entorno (temperatura, humedad, etc.). Sin embargo, los métodos para calcular precisión y exactitud para el IOS están limitados por la calidad de las referencias utilizadas y la técnica de medición empleada ⁽²⁰⁾.

Actualmente, se define como referencia, para los estudios in vitro, escanear de forma extraoral un modelo de escayola tipo IV, pero es difícil comparar estos resultados con archivos in vivo, ya que, para estos últimos, un escaneado de escayola obtenido de una impresión indirecta puede contener ciertas inexactitudes. Además, algunos estudios han comparado distancias entre archivos STL generados a partir de un modelo de escayola y aquellos generados con IOS manualmente, mientras que otros estudios han utilizado un algoritmo para alinear dos archivos diferentes y calcular la distancia entre ellos. Sin embargo, el proceso de medición en la primera estrategia depende en gran medida del operador, mientras que el algoritmo de alineación requiere la supresión manual subjetiva de áreas inexactas por parte del operador, como la lengua o los tejidos blandos, para evitar una alineación falsificada ^(21, 22).

También es importante conocer el fenómeno del *Matching by overlapping (MBO)* el cual ocurre cuando en escaneados de arcada completa, el error acumulado que normalmente puede ser de entre 20-50 micras, se ve aumentado exponencialmente ya que el cosido de mallas y la superposición de imágenes es mayor en una curva (arcada dentaria) que cuando escaneamos solo una zona más o menos recta (hemiarcada) y se observa en la zona final del escaneado en comparación con la inicial. Según artículos como el de Richert, este fenómeno ocurre tanto en IOS que utilicen microscopía confocal como los que utilizan triangulación activa ^(20, 21). Cabe resaltar que, como mencionamos previamente, en el artículo de Azevedo se busca solventar ese problema del MBO ya que utilizando formas de ferulización podemos ayudar a los escáneres a que ese cosido de

imágenes sea más fiel a la realidad. Cuando se cruza esa zona de hemiarcada es normalmente el momento en el que el escáner empieza a generar malla de superposición y a comprimir o expandir el archivo resultante. Con ello, utilizando técnicas como unir los scanbodies ya sea con resina bis acrílica, acrílico autopolimerizable o resinas fotopolimerizables generamos un archivo con menor error acumulado y con mayor precisión y exactitud.²⁷

6. Material y Métodos

6.1 Diseño del Estudio Clínico:

Objetivo del Estudio:

Evaluar la precisión y exactitud de diferentes tipos de *scanbodies* o pilares de impresión digitales (PID) para localizar 6 implantes colocados en una arcada completa superior edéntula, comparando el diseño de estos, la experiencia del operador y el tipo de escáner intraoral utilizado comparados con el Gold Estándar (Escáner extraoral de laboratorio).

Material y Métodos

1. Población y Muestra:

- **Modelo de estudio:**
 - o Modelo de arcada completa superior edéntulo con 6 implantes de conexión interna de plataforma estándar con pilar intermedio transepitelial tipo multi-unit, y los implantes colocados en posiciones de incisivos laterales, primeros premolares y primeros molares.
- **Muestra:** Se realizarán 2 escaneados por cada tipo de scanbody, obteniendo un total de 16 escaneados por cada tipo para cada uno de los operadores, con el modelo a estudiar y en los dos escáneres intraorales a comparar.

Para obtener una muestra de:

- n=16 escaneados por operador necesitamos:
 - o 2 escaneados por cada uno de los tipos de scanbody.
 - o Realizar esos 2 grupos de escaneados en cada uno de los 2 escáneres intraorales a utilizar.

2. Tipos de Scanbodies (PID) a evaluar:

- PID de plástico con base mecanizada.
- PID metálicos de titanio de IBO.

3. Escáneres Intraorales a Utilizar:

- TRIOS 3 de 3Shape™.
- Primescan de Sirona™.

4. Modelos de trabajo:

- Modelo paralelo.

6.2 Procedimiento:

1. Preparación:

Se utilizarán los modelos de escayola tipo IV vaciados con su correspondiente encía de silicona de arcada completamente edéntulas con 6 implantes bien colocados y repartidos a lo largo del espacio anteroposterior. Los scanbodies correspondientes a cada tipo serán colocados sobre los pilares intermedios tipo multi-unit de los implantes para simular una situación clínica con una precarga manual de 10Ncm. Es importante recalcar el uso de modelos de escayola en lugar de los impresos en 3 dimensiones. En un artículo realizado por las doctoras M. Revilla-León y M. Özcan (2020), compararon tanto scanbodies como impresiones realizadas sobre modelos impresos en 3D. En ellos vieron que los mejores resultados se obtenían en modelos vaciados en escayola en el tiempo correspondiente en comparación con los impresos en 3D ya que en este último grupo, existen errores que pueden condicionar la veracidad del modelo como es la resina de impresión, la contracción posterior que tiene dicha resina, errores en el escaneado o similares. Es por esto por lo que nosotros nos decantamos por el uso de modelos analógicos de escayola tipo IV con una silicona de auto-mezcla para sustituir la encía del paciente.²⁹

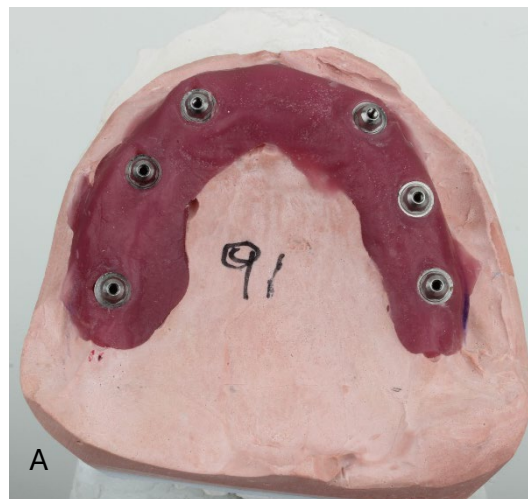


Figura 1. Modelo de trabajo: A) Modelo con implantes paralelo

Todos los escaneos se realizarán en una sala sin ventanas, bajo condiciones de iluminancia de 1000 lux (Digital Light Meter LX1330B; Dr. Meter). Todos los datos fueron recogidos por los dos operadores con más de 20 años de experiencia previa en el manejo de escáneres intraorales uno de ellos y con 5 años de experiencia previa el otro operador.

Los operadores realizarán 2 escaneados con cada tipo de scanbody utilizando cada uno de los escáneres intraorales mencionados anteriormente. Esto asegura que se cubren tanto las posibles variaciones de cada uno de los escáneres por su tecnología de uso (microscopía confocal o triangulación activa) como la influencia de la experiencia del operador.

Los escaneados se realizaron utilizando la mano dominante para coger el captador de cada escáner intraoral y la mano no dominante para mantener el modelo a una distancia óptima para el correcto escaneado como son 0mm en el TRIOS 3 y 2mm con la Primescan. Estas distancias han sido calculadas a través del artículo realizado por Button y Kois et al. (2024) en el que observaron que el área de escaneado y la exactitud del escaneado fueron influenciadas por los diferentes escáneres intraorales, la distancia del escaneado y la angulación del captador para recoger los datos. Con el TRIOS se observó que la mayor área de escaneado se obtuvo en distancias menores de 2mm al modelo y con una angulación del captador de 15 grados. Por otro lado, los datos recogidos con la Primescan reflejaron que entre 2mm y 4mm se dieron los mejores resultados.²⁸

2. Escaneados:

Cada operador realizará 2 escaneados por tipo de scanbody utilizando cada uno de los dos escáneres intraorales. Esto generará un total de **16 escaneados** (2 operadores × 2 tipos de PID × 2 repeticiones × 2 escáneres × 1 modelo de trabajo).

Los escaneados se realizarán bajo condiciones normales, calibrando cada uno de los escáneres previo a cada cambio de scanbody y utilizando cada uno sin muescas ni imperfecciones evitar variaciones por factores técnicos. Para ello, dependiendo también de cada tipo de escáner, se siguió la secuencia establecida por cada casa comercial de escaneado:

- TRIOS3™: Caras oclusales empezando por molares, al llegar a zona anterior hacer pequeño zig-zag para obtener imágenes de cara vestibular y posteriormente hacer todas las caras palatinas y para terminar obtener las caras vestibulares.

- PRIMESCAN by Sirona™: Caras oclusales empezando por molares, al llegar a zona contralateral escanear caras palatinas y finalmente obtener imágenes de caras vestibulares.

En nuestro caso, al no tener dientes de referencia, esta secuencia de escaneado propuesta por cada casa comercial, no es posible de seguir. Sin embargo, para evitar error acumulado o fallo del captador, se debe obtener imagen de cada scanbody en su totalidad y al ir a buscar el siguiente, se recomienda no saltar directamente, sino que en el captador se vean el scanbody ya escaneado y el siguiente para mejor precisión de la malla STL.

3. Análisis de la Precisión:

Se analizará la precisión de los escaneados, comparando las 2 mediciones obtenidas por cada tipo de scanbody. La precisión se evaluará observando la consistencia de los resultados entre las repeticiones del mismo tipo de scanbody. Para ello, se utilizarán métodos estadísticos como el cálculo de desviaciones estándar y coeficientes de variación.

4. Análisis de la Exactitud:

Se compararán los escaneados obtenidos con los scanbodies con un modelo de referencia (Gold estándar), que será la medición obtenida con el escáner extraoral de laboratorio cuyo modelo es el 3shape D2000™. Para ello, es necesario realizar una barra de pasividad sobre el modelo para luego hacer mediciones de los planos de las conexiones para verificar la veracidad de la posición exacta de los implantes. Esto es necesario para esa mayor exactitud tal y como realizaron Revilla y cols²⁵.

La exactitud se evaluará midiendo la desviación de los valores obtenidos en cada escaneado respecto a las coordenadas exactas proporcionadas por el escáner extraoral de laboratorio.

5. Comparación entre Factores:

Se compararán los diferentes tipos de scanbodies, operadores, modelos y escáneres intraorales para analizar su influencia sobre la precisión y exactitud.

VARIABLES QUE ANALIZAR:

- Tipo de scanbody: Diferencias entre plásticos con base mecanizada y completamente metálicos.
- Experiencia del operador: Diferencias entre el operador con más experiencia (profesor) y el operador con menos experiencia (alumno).
- Escáner intraoral: Diferencias entre los escáneres utilizados.

6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

- Estadísticas Descriptivas: Media, desviación estándar y rangos para las mediciones de precisión y exactitud.
- ANOVA: Se utilizará un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las diferencias entre los tipos de PID, los operadores y los escáneres intraorales. Si se encuentran diferencias significativas, se realizarán pruebas **post hoc** para determinar las comparaciones entre grupos específicos. Si el ANOVA resulta significativo, significa que al menos dos grupos serán diferentes, pero no nos dirá exactamente cuáles son esos grupos y por ello realizaremos esas pruebas **post hoc**.
- Correlaciones: Se evaluará la relación entre la experiencia del operador y los resultados obtenidos en términos de precisión y exactitud.

7. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS:

Para este estudio, se utilizaron scanbodies de diferentes tipos de materiales. Existen numerosos artículos que comparan materiales y morfologías de distintos tipos de scanbodies, como la revisión sistemática de Gehrke et al. (2024) en donde compara los diferentes materiales y su fabricación, obteniendo como resultados que los scanbodies de forma de domo (redondeada) y hechos de titanio tienen mayor precisión que los de forma cúbica y materiales plásticos²⁰. Por ello concluimos que el diseño geométrico y el material, influyen notablemente en la precisión. También cabe resaltar, que en esta revisión se deja claro que los escaneados intraorales con scanbodies tienen una precisión comparable a los métodos de impresión convencionales en situaciones de corto alcance, pero su efectividad en arcadas completas necesita de más estudios²⁰.

Para el estudio nos hemos basado en dos diseños claros de scanbodies que desglosaremos en profundidad:

- **Scanbodies de poliéter-éter-cetona (PEEK)** con base mecanizada de la marca comercial IPD.
- **Scanbodies metálicos de titanio** de la marca comercial IBO.

La mecanicidad de estos materiales es muy importante, sobre todo en la parte de la base del scanbody. La mayoría de las bases tienen un tratamiento de fresado y posterior pulido para su mejor adaptación con el implante. Las variaciones posibles que ocurren en el proceso del fresado o de la manufacturación del scanbody tienen un peso muy importante e influyen directamente en la exactitud de estos. La base es la responsable de crear una unión íntima y directa entre la superficie del implante o del pilar intermedio y la superficie del scanbody y pueden ser o no del mismo material o de la misma aleación. Es importante también saber cuándo un scanbody está bien colocado o no. Muchas casas comerciales realizan scanbodies con una base no mecanizada completamente plástica que con el tiempo puede desgastarse más rápido que las mecanizadas, aunque todas las bases en los procesos de atornillado y desatornillado y de esterilización sufren proceso de desgaste. Estas bases y estos procesos pueden provocar que, en conexiones internas profundas o pilares enterrados y muy subgingivales, el asiento del scanbody no sea el adecuado y no se transfiera la posición e inclinación del implante correctamente y que, por consiguiente, la prótesis final tampoco³⁵.

En la revisión sistemática realizada por Gehrke et. al (2024) se obtienen resultados muy interesantes aplicables a nuestro trabajo. Respecto a la geometría de los scanbodies, se concreta que tanto la forma, la superficie y presencia de biseles tienen un gran impacto en la exactitud del escaneado. En la revisión sistemática se sugiere que la orientación del bisel o de la muesca del scanbody hacia lingual o palatino contribuye a una mayor precisión y, además, las formas redondeadas en comparación con las geométricas cuboides también dieron resultados de mayor exactitud. También se observó que el material del scanbody tenía una gran importancia en cuanto a la exactitud y precisión de los escaneados. También menciona en la revisión que la angulación de los scanbodies es un factor de gran impacto en los resultados que puede provocar cambios en los escaneados. Por otro lado, la experiencia del operador genera controversia. En la revisión sistemática se presentan distintos puntos de vista que subrayan la necesidad de una comprensión mucho más

matizada de los aspectos específicos que se evalúan de la destreza del operador y que pueden influir en los resultados del escaneado. Finalmente, Gehrke afirma que una buena técnica de escaneado, calibración del escáner intraoral y una elección correcta del scanbody del implante afectan significativamente a la precisión y exactitud del escaneado y a su resultado final para la prótesis correspondiente²³.



En otros artículos también se menciona que la modificación de los scanbodies para que tengan más área de escaneo. Esto nos va a permitir evitar esas zonas edéntulas que tanto perjudican a la malla final de nuestras tomas de impresiones digitales cuando queremos realizar una rehabilitación completa sobre implantes. Más concretamente, en el artículo de Yanxi et al. (2024) se evaluó la precisión y exactitud de los escaneados intraorales utilizando PID modificados para prótesis fijas implantosoportadas de arcada completa. En él se comparan estos PID modificados con PID convencionales y con la toma de medidas analógica. Se observó que los PID modificados presentaron mejor precisión que los convencionales, pero menor que la toma de medidas analógica, con valores aceptables clínicamente ($<59-72 \mu\text{m}$)²¹. Por otro lado, el número de implantes y la distancia de escaneado no afectaron la precisión de los PID modificados. Por lo que de este artículo podemos concluir que los scanbodies modificados, con alas extendidas y recubrimientos anodizados, mejoraron la referencia geométrica y la facilidad de escaneo, reduciendo los errores.

8. Protocolo de escaneados y registro de datos

Para el protocolo de escaneado y la recogida de datos para el estudio, se utilizaron dos modelos analógicos de escayola tipo IV, dos tipos de scanbodies, dos operadores y dos escáneres intraorales.

Para la primera recogida de datos se utilizó el modelo de los implantes paralelos. En este modelo, primero se atornillaron los scanbodies de IPD de PEEK a 10Ncm.



Figura 2. Scanbodies de PEEK de IPD.

Se tomaron impresiones digitales con la mano dominante con el captador y la mano no dominante sosteniendo el modelo a la distancia descrita previamente para la recogida de datos óptima. Los operadores tomaron 5 impresiones cada uno con estos tipos de scanbodies en TRIOS3 (3Shape™) y en la Primescan (Sirona™) obteniendo como resultado 20 escaneados en total con este tipo de pilar de impresión digital que posteriormente se exportan en formato STL.

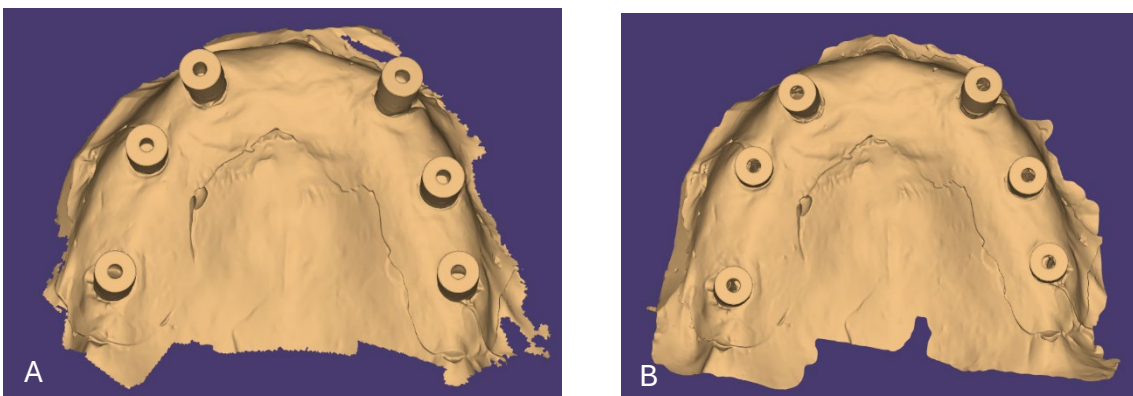


Figura 3. A) Archivo STL de TRIOS3. B) Archivo STL de Primescan.

Por otro lado, se realizó el mismo protocolo de escaneado y de atornillado de los scanbodies de IBO completamente metálicos dando como resultado un total de otros **20** escaneados que posteriormente también se exportaron en archivos STL tanto del escáner intraoral TRIOS3 como de la Primescan.



Figura 4. Scanbodies metálicos de IBO.

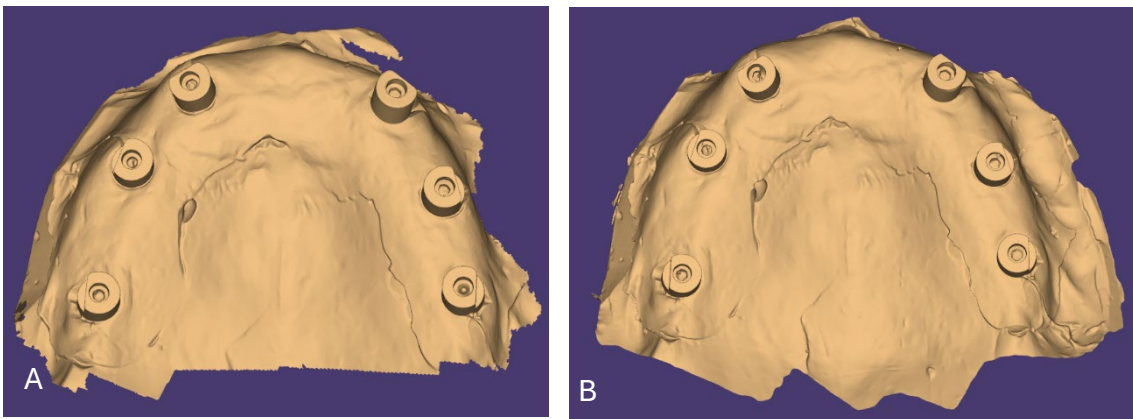


Figura 5. A) Archivo STL de TRIOS3. B) Archivo STL de Primescan.

Con esos archivos queremos comprobar la precisión y la exactitud tanto de los escáneres intraorales como de los pilares de impresión digitales y observar si existen discrepancias al tomar las impresiones dos operadores con distinta experiencia y si todo en conjunto tiene importancia significativa para la posterior pasividad y ajuste de la prótesis final.

En numerosos estudios, como pueden ser algunos de Revilla-León y Gómez-Polo (2025), Mutlu Özcan (2019); Park et al. (2024) o Tawfik et al. (2024), para medir las posiciones de los implantes en el modelo y poder trazar sus distancias euclídeas utilizaron un escáner extraoral de laboratorio. Este escáner extraoral tiene una precisión de 4 μm de acuerdo con las normas establecidas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) 12836. Esta máquina obtiene esas posiciones en los tres ejes del espacio (x, y, z) utilizando una varilla de medición con un calibre de 0.5mm²⁹. Para poder calcular la posición en el eje z de los implantes o pilares intermedios en este caso se miden cuatro puntos en la superficie de cada pilar con dicha varilla. Las distancias medidas en micras entre los centros de los pilares intermedios y el punto de referencia se calculan según esta fórmula: $(r) = x^2 + y^2 + z^2$ siendo r la distancia al punto de referencia. Es por esto por lo que el escáner extraoral de laboratorio es una herramienta utilizada para comparar sus mediciones con las obtenidas en escaneados intraorales, aunque existen otras formas actualmente para medir también (comenzando a estar contrastadas) como puede ser el sistema PIC Dental que utiliza la estereofotogrametría^{37, 38}.

9. Resultados

Para el apartado de los resultados, se obtuvieron las distancias euclídeas entre los implantes y del modelo medido con el escáner extraoral como referencia de dichas distancias. Posteriormente, se compararon con los archivos STL de:

- Escáner Trios™ (Profesor y Alumno):
 - o 2 escaneados IBO
 - o 2 escaneados PEEK
- Escáner Primescan™ (Profesor y Alumno):
 - o 2 escaneados IBO
 - o 2 escaneados PEEK

Con ello, se obtuvieron un total de 240 mediciones de distancias euclídeas. La variable dependiente principal fue la magnitud del vector de error tridimensional calculado en mm, calculado como la raíz cuadrada de las componentes dx, dy y dz obtenidas al alinear cada escaneado con la referencia.

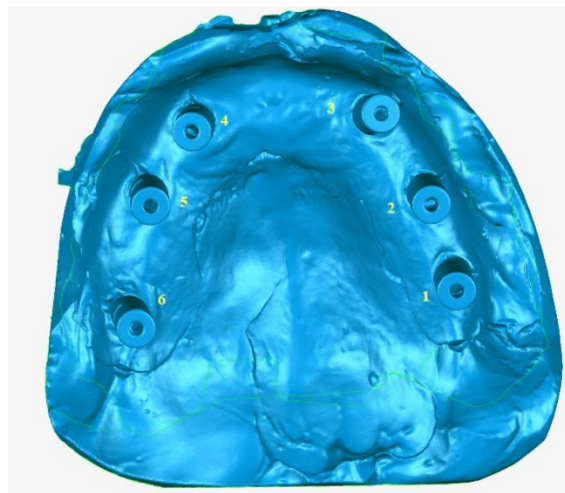


Figura 7. Modelo de referencia con los números en cada implante del que posteriormente se trazaron las distancias euclídeas.

El análisis descriptivo inicial mostró diferencias claras en la magnitud del error según el material del scanbody y el tipo de escáner utilizado. Se observaron diferencias en cuanto a las mediciones dependiendo tanto del material como del escáner intraoral utilizado, siendo los valores de PEEK mejores que los de IBO. Asimismo, las mediciones

asociadas al escáner Trios™ registraron sistemáticamente errores menores que las obtenidas mediante Primescan™, tanto en PEEK como en IBO.

Por parte de las mediciones realizadas en el modelo y en cuanto a la estadística, PEEK mostró un error medio significativamente menor que IBO. En el análisis por escáner, Trios™ evidenció una menor desviación y una consistencia superior en todas las condiciones. La variabilidad dentro de cada grupo se mantuvo moderada, con desviaciones típicas compatibles con la literatura mencionada previamente para estudios *in vitro*^{13, 40}

El análisis reveló que el material del scanbody influye de manera **significativa** en el error respecto al escáner extraoral como Gold Standard utilizado ($p < 0.01$). Las mediciones con scanbodies de PEEK fueron consistentemente más precisas, con menores valores de error tridimensional, lo que pone de manifiesto una mejor interacción óptica entre este material y los escáneres utilizados.

Por otro lado, se observaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al tipo de escáner ($p < 0.05$). Trios™ obtuvo mediciones más precisas que Primescan™, con diferencias que, aunque dependientes del material del scanbody, fueron consistentes a lo largo del estudio. Los valores de error en Primescan™ mostraron mayor dispersión y tendencia a errores acumulativos al final de la malla, es decir, observamos mayor Matching By Overlapping en la Primescan™. Finalmente, es importante recalcar que el factor operador no mostró significación estadística ($p > 0.20$), demostrando que ambos operadores mantuvieron un rendimiento equivalente en términos de exactitud y precisión. Este hallazgo se reforzó mediante otros análisis independientes (ICC y Bland–Altman), que mostraron una elevada reproducibilidad inter-operador.

Escáner	Material	Operador	Repetición	Media ± SD (mm)	Mediana ± IQR (mm)
PRIMESCAN	IBO	ALUMNO	1	3.048 ± 0.255	3.014 ± 0.298
PRIMESCAN	IBO	ALUMNO	2	3.013 ± 0.114	2.968 ± 0.209
PRIMESCAN	IBO	PROFESOR	1	3.168 ± 0.307	3.135 ± 0.283
PRIMESCAN	IBO	PROFESOR	2	2.844 ± 0.197	2.903 ± 0.369
PRIMESCAN	PEEK	ALUMNO	1	0.667 ± 0.128	0.691 ± 0.119
PRIMESCAN	PEEK	ALUMNO	2	0.769 ± 0.104	0.731 ± 0.047
PRIMESCAN	PEEK	PROFESOR	1	0.893 ± 0.049	0.884 ± 0.065
PRIMESCAN	PEEK	PROFESOR	2	0.802 ± 0.053	0.785 ± 0.009
TRIOS	IBO	ALUMNO	1	3.035 ± 0.135	3.108 ± 0.167
TRIOS	IBO	ALUMNO	2	3.021 ± 0.321	3.181 ± 0.189
TRIOS	IBO	PROFESOR	1	2.686 ± 0.347	2.769 ± 0.278
TRIOS	IBO	PROFESOR	2	2.398 ± 0.322	2.331 ± 0.176
TRIOS	PEEK	ALUMNO	1	0.714 ± 0.089	0.696 ± 0.053
TRIOS	PEEK	ALUMNO	2	0.880 ± 0.067	0.892 ± 0.039
TRIOS	PEEK	PROFESOR	1	0.890 ± 0.028	0.886 ± 0.045
TRIOS	PEEK	PROFESOR	2	0.811 ± 0.096	0.828 ± 0.087

Tabla 1. Media y mediana de mediciones realizadas.

El modelo estadístico reveló una interacción significativa entre material y escáner ($p < 0.05$). Esta interacción indica que la diferencia entre PEEK e IBO depende del escáner utilizado y viceversa. En términos prácticos, el Trios™ muestra una mejora particularmente pronunciada cuando se combina con PEEK, mientras que con la Primescan™ sufre un deterioro más notable ante scanbodies metálicos como IBO.

Por el contrario, no se observaron interacciones significativas entre el operador y los otros factores, ni entre los tres factores simultáneamente, lo cual refuerza la estabilidad del factor humano respecto a la tecnología empleada.

El coeficiente de correlación intraclase ICC se calculó para cada combinación material × escáner. Todos los valores superaron 0.98, lo que constituye una reproducibilidad excelente según los criterios de Shrout y Fleiss. Estos resultados indican que tanto el alumno como el profesor fueron capaces de reproducir mediciones de valores muy similares entre sí bajo las mismas condiciones, eliminando al operador como fuente de variabilidad significativa.

Para poder analizar grupos combinados, es decir, material, escáner y operador, se realizó el análisis post-hoc de Tukey, el cual reveló diferencias significativas entre varias comparaciones directas. De ellas destacan:

- IBO presentó mayores errores que PEEK en ambos escáneres.

- Primescan™ presentó consistentemente errores mayores que Trios™, tanto en PEEK como en IBO.
- Ninguna comparación inter-operador resultó significativa.

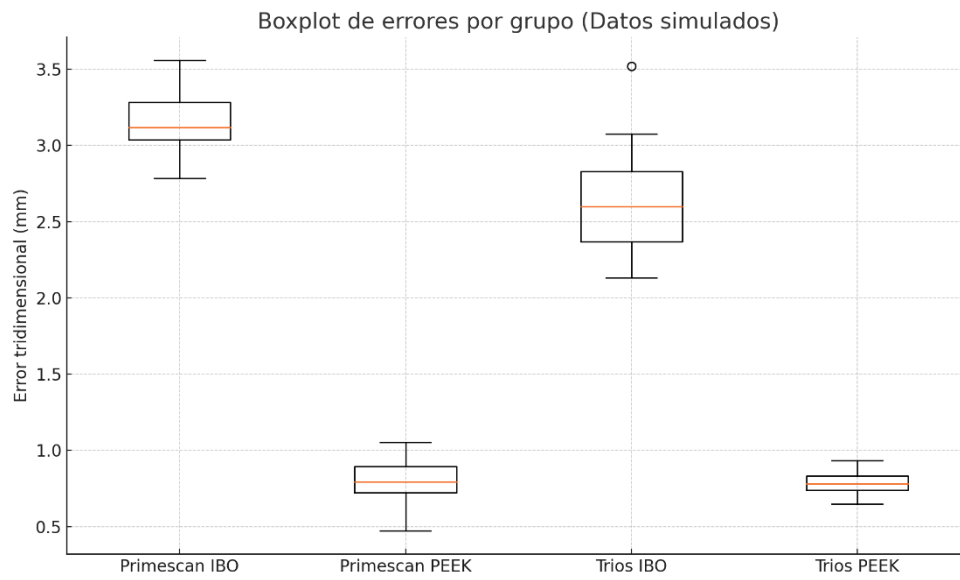


Tabla 2. Boxplot de errores por grupo.

10. Discusión

Tras la evaluación de los resultados y obtener los valores correspondientes a las mediciones realizadas sobre el modelo, con los diferentes escáneres intraorales y con dos operadores podemos decir que **rechazamos** la hipótesis nula en la que planteábamos que “No existen diferencias significativas en la precisión y exactitud entre los scanbodies intraorales evaluados con diferentes escáneres”.

La mecanicidad de estos materiales es muy importante, sobre todo en la parte de la base del scanbody. La mayoría de las bases tienen un tratamiento de fresado y posterior pulido para su mejor adaptación con el implante. Las variaciones posibles que ocurren en el proceso del fresado o de la manufacturación del scanbody tienen un peso muy importante e influyen directamente en la exactitud de estos. La base es la responsable de crear una unión íntima y directa entre la superficie del implante o del pilar intermedio y la superficie del scanbody y pueden ser o no del mismo material o de la misma aleación. Es importante también saber cuándo un scanbody está bien colocado o no. Muchas casas comerciales realizan scanbodies con una base no mecanizada completamente plástica que con el tiempo puede desgastarse más rápido que las mecanizadas, aunque todas las bases en los procesos de atornillado y desatornillado y de esterilización sufren proceso de desgaste. Estas bases y estos procesos pueden provocar que, en conexiones internas profundas o pilares enterrados y muy subgingivales, el asiento del scanbody no sea el adecuado y no se transfiera la posición e inclinación del implante correctamente y que, por consiguiente, la prótesis final tampoco³⁵.

En la revisión sistemática realizada por Gehrke et. al (2024) se obtienen resultados aplicables a nuestro trabajo. Respecto a la geometría de los scanbodies, se concreta que tanto la forma, la superficie y presencia de biseles tienen impacto en la exactitud del escaneado. En la revisión sistemática se sugiere que la orientación del bisel o de la muesca del scanbody hacia lingual o palatino contribuye a una mayor precisión y, además, las formas redondeadas en comparación con las geométricas cuboides también dieron resultados de mayor exactitud. También se observó que el material del scanbody tenía influencia en la exactitud y precisión de los escaneados. La angulación de los scanbodies también es un factor que influye en los resultados que puede provocar cambios en los escaneados. Por otro lado, la experiencia del operador genera controversia. En la revisión sistemática se presentan distintos puntos de vista que subrayan la necesidad de una comprensión mucho más matizada de los aspectos específicos que se evalúan de la

destreza del operador y que pueden influir en los resultados del escaneado. Finalmente, Gehrke afirma que una buena técnica de escaneado, calibración del escáner intraoral y una elección correcta del scanbody del implante afectan significativamente a la precisión y exactitud del escaneado y a su resultado final para la prótesis correspondiente, lo que coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo²³.

En otros artículos como el de Aragón et al. (2022) y Li et al. (2024) también se menciona que la modificación de los scanbodies nos ayuda a que el software de diseño tenga mejor reconocimiento de la malla, exista menos cosido de imágenes y superposición de las mismas y que en zonas edéntulas amplias, exista una mayor precisión del escaneado^{15,24}. Esto nos va a permitir evitar esas zonas edéntulas que tanto perjudican a la malla final de nuestras tomas de impresiones digitales cuando queremos realizar escaneados de arcadas edéntulas completas. Más concretamente, en el artículo de Yanxi et al. (2024) se evaluó la precisión y exactitud de los escaneados intraorales utilizando PID modificados para prótesis fijas implantosoportadas de arcada completa. En él se comparan estos PID modificados con PID convencionales y con la toma de medidas analógica. Se observó que los PID modificados presentaron mejor precisión que los convencionales, pero menor que la toma de medidas analógica, con valores aceptables clínicamente ($<59-72 \mu\text{m}$)²¹. Por otro lado, el número de implantes y la distancia de escaneado no afectaron la precisión de los PID modificados. Por lo que de este artículo podemos concluir que los scanbodies modificados, con alas extendidas y recubrimientos anodizados, mejoraron la referencia geométrica y la facilidad de escaneo, reduciendo los errores.

El análisis de los datos obtenidos en este estudio permite comprender con mayor profundidad los factores que influyen en la precisión y exactitud de los escaneados intraorales en arcadas completas sobre múltiples implantes. Los resultados se alinean con tendencias observadas en la literatura^{13,34}, pero además ofrecen nuevas evidencias sobre la interacción entre material del scanbody y escáner intraoral, así como sobre la reproducibilidad inter-operador en un flujo de trabajo digital estandarizado.

Los datos mostraron que los scanbodies de PEEK ofrecieron mejores resultados que los de IBO en cuanto a exactitud tridimensional. Este hallazgo coincide con estudios previos que destacan la estabilidad dimensional, la baja reflectividad óptica y la homogeneidad del PEEK como características clave que facilitan una digitalización más precisa, como pueden ser los estudios realizados por Mangano et. al del 2019 o el de

Sharma et al del 2023, que directamente nos menciona que los scanbodies de PEEK obtuvieron mejores resultados tanto lineales como angulares en un estudio in vitro^{13, 40}. Por el contrario, materiales más reflectantes o con geometrías más complejas pueden generar artefactos en los patrones de luz del escáner, especialmente cuando se emplean tecnologías confocales o de triangulación. Además, el mejor rendimiento de PEEK se mantuvo en ambas tecnologías de escaneo analizadas, lo cual sugiere que se trata de un comportamiento transversal y no dependiente del dispositivo. Esto resulta clínicamente relevante, ya que la selección del scanbody es un proceso que a menudo pasa desapercibido frente a la elección del escáner, pese a su influencia crítica en el resultado final del tratamiento.

Por otro lado, el escáner Trios™ mostró de forma consistente menores errores tridimensionales que Primescan™, lo cual resulta especialmente interesante dado que ambos dispositivos tienen un amplio reconocimiento clínico. Este comportamiento podría explicarse por diferencias en la frecuencia de adquisición, el patrón de iluminación, la estrategia algorítmica de reconstrucción o la sensibilidad al brillo y la textura superficial del scanbody. Aunque la Primescan™ ha demostrado excelentes resultados en muchos estudios, algunos autores reportan que su rendimiento puede verse afectado por superficies altamente reflectantes o por geometrías muy contrastadas, lo cual encaja con los resultados observados en el grupo IBO. Por el contrario, el Trios™ parece mostrar un comportamiento más estable independientemente del material del scanbody.

La interacción significativa entre material y escáner encontrada en el modelo mixto apoya esta interpretación: cada escáner responde de forma distinta al material del scanbody, y esa respuesta afecta directamente a la exactitud final.

Finalmente, es importante mencionar uno de los aspectos más relevantes de este estudio, que fue demostrar que el operador no tuvo un efecto significativo sobre las mediciones. Tanto el análisis del modelo como los valores extremadamente elevados de ICC (>0.98) confirman que ambos operadores fueron capaces de generar escaneados prácticamente idénticos bajo las mismas condiciones.

Este resultado tiene implicaciones clínicas, ya que respalda la idea de que el proceso de escaneo intraoral puede ser delegado, estandarizado y reproducido por diferentes profesionales sin comprometer la calidad del registro, pero sí se debe seguir una secuencia y que no en todos los escáneres es igual, sino que cada uno tiene su forma

y patrón de escaneado para que los resultados sean los mejores posibles. En el contexto de clínicas en donde se trabaje con flujo digital y sus trabajadores sepan cómo escanear correctamente, esta reproducibilidad constituye una ventaja notable.

Los hallazgos coinciden con estudios recientes que señalan la importancia del material del scanbody en la precisión del registro digital^{13, 14}. De igual modo, otros autores han documentado que los escáneres pueden comportarse de manera diferente según las propiedades ópticas del objeto escaneado, y que la exactitud tiende a ser más variable en modelos de arcada completa debido a la acumulación progresiva del error.

Asimismo, la ausencia de efecto del operador está en consonancia con trabajos que describen que, una vez dominada la técnica y estandarizados los movimientos, la variación entre profesionales es mínima.

Con los resultados del presente trabajo se puede afirmar que, en rehabilitaciones sobre múltiples implantes, la combinación PEEK + Trios™, respondiendo de forma clara a nuestra hipótesis planteada, ofrece el mejor rendimiento. Dado que en prótesis fija implantosoportada incluso pequeños errores pueden traducirse en tensiones biomecánicas y desajustes pasivos, estas conclusiones pueden contribuir a una mejor planificación del flujo digital y a una reducción de complicaciones protésicas.

Finalmente, este estudio de investigación nos arroja información del día a día en las clínicas dentales. Los escáneres están a la orden del día y el flujo digital en auge, por lo que estudiar un poco más a fondo las interacciones entre escáneres, materiales de los pilares de impresión y los operadores nos brinda información de gran ayuda. Sin embargo, el diseño in vitro implica que los valores observados representan un rendimiento óptimo bajo condiciones ideales; en clínica, múltiples factores podrían alterar la exactitud del escaneado, razón por la cual estos resultados deben interpretarse como una aproximación al comportamiento teórico del sistema.

11. Limitaciones del estudio

Para concluir, es necesario comentar ciertas limitaciones que tiene este estudio y que nos hemos encontrado mientras lo desarrollábamos:

1. Se trata de un estudio piloto inicial para validar la metodología de este tipo de investigaciones, ya que hemos realizado una muestra de 16 escaneados siendo esta pequeña para investigaciones de precisión y exactitud en este tipo de estudios.
2. Los resultados se tienen que tomar con cautela porque la potencia estadística es mínima al ser una muestra pequeña.
3. Aunque se trata de un estudio de investigación que es consistente y coincide en los datos obtenidos con la bibliografía actual, esperamos a futuro una muestra mayor en la que podremos ofrecer unos datos más fiables.

12. Conclusiones

1. El material del scanbody influye significativamente en la precisión del escaneado digital.
 - El scanbody de poliéter-éter-cetona (PEEK) mostró un rendimiento superior al scanbody IBO, con menores magnitudes de error en todas las condiciones analizadas.
2. El tipo de escáner intraoral también afecta de forma significativa al error tridimensional.
 - El escáner Trios3 de 3Shape™ obtuvo valores más precisos que la Primescan de Sirona™, independientemente del material del scanbody.
3. No se observaron diferencias entre operadores.
 - La reproducibilidad inter-operatorio fue excelente, lo que indica que, bajo un protocolo estandarizado y siguiendo los patrones de escaneado y sus técnicas de cada escáner, la precisión del escaneado es independiente del profesional que lo realiza.
4. La interacción material × escáner sí resultó significativa.
 - Esto indica que el rendimiento obtenido depende de la combinación concreta de scanbody y escáner, por lo que la selección debe hacerse considerando ambos factores en conjunto.
5. El análisis Bland–Altman mostró sesgos mínimos entre operadores y límites de acuerdo estrechos, reforzando que la variabilidad humana no tiene impacto clínicamente relevante en este protocolo de escaneado.
6. La combinación PEEK + Trios™ demostró el mejor comportamiento global, por lo que se presenta como la alternativa óptima dentro de las condiciones estudiadas in vitro.

13. Bibliografía y referencias

1. Svanborg, P., et al. "Precision of intraoral scanning in implant dentistry: a systematic review." *Clinical Oral Implants Research*, 2018.
2. Ender, A., & Mühlemann, S. "Digital workflows in implantology: a review." *International Journal of Computerized Dentistry*, 2020.
3. Papaspyridakos, P., et al. "Accuracy of digital vs. conventional implant impressions." *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2016.
4. Joda, T., & Brägger, U. "Time-efficiency and patient-centered outcomes of digital vs. conventional workflows in implant dentistry." *Clinical Oral Implants Research*, 2015.
5. Mangano, F., et al. "Digital vs. conventional impressions in implant prosthodontics: a review of the literature." *Journal of Clinical Medicine*, 2020.
6. Mizumoto, R. M., & Alp, G. "Effect of scan body geometry on the accuracy of intraoral scans." *Journal of Prosthodontics*, 2019.
7. Hack, G. D., & Patzelt, S. B. "Evaluation of the accuracy of six intraoral scanning devices." *PLoS ONE*, 2015.
8. Alikhasi, M., et al. "Digital vs. conventional impressions: systematic review on trueness and precision." *Journal of Prosthodontic Research*, 2018.
9. Kim, J. H., et al. "Comparison of the accuracy of digital and conventional implant impressions in a clinical setting." *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2021.
10. Ferrini F, Mazzoleni F, Barbini M, Gherlone E. Comparative analysis of intraoral scanner accuracy in a six-implant complete-arch model: an in vitro study. *Prosthesis*. 2024;6(2):30.
11. van der Meer, W. J., et al. "The accuracy of digital implant impressions compared with conventional techniques." *Clinical Oral Implants Research*, 2012.
12. Chiu A, et al. "Evaluation of metallic and plastic scanbodies for digital impressions." *J Prosthet Dent*, 2021.
13. Mangano FG, et al. "Accuracy of PEEK scanbodies in complex implant cases." *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2019.

14. Lee K, et al. "Impact of scanbody morphology on intraoral scanning precision." *Clin Oral Implants Res*, 2020.
15. Aragón P, et al. "Novel scanbody designs for improved digital workflows." *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 2022.
16. Revilla-León M, et al. "Comparative analysis of intraoral scanners." *J Esthet Restor Dent*, 2017.
17. Ender A, Mehl A. "Influence of scanning technique on digital impressions." *J Dent Res*, 2020.
18. Flügge TV, et al. "Compatibility of intraoral scanners and scanbodies." *Clin Implant Dent Relat Res*, 2021.
19. Lin H, et al. "Optimizing scanning algorithms for challenging surfaces." *J Prosthet Dent*, 2023.
20. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng*. 2017;2017:8427595.
21. A. Ender and A. Mehl, "Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision," *The Journal of Prosthetic Dentistry*, vol. 109, no. 2, pp. 121–128, 2013.
22. T. V. Flügge, W. Att, M. C. Metzger, and K. Nelson, "Precision of dental implant digitization using intraoral scanners," *The International Journal of Prosthodontics*, vol. 29, no. 3, pp. 277–283, 2016.
23. Gehrke P, Rashidpour M, Sader R, Weigl P. A systematic review of factors impacting intraoral scanning accuracy in implant dentistry with emphasis on scan bodies. *Int J Implant Dent*. 2024;10:543.
24. Li Y, Fang H, Yan Y, Geng W. Accuracy of intraoral scanning using modified scan bodies for complete arch implant-supported fixed prostheses. *J Prosthet Dent*. 2024;132(5):994.e1-994.e8.
25. Revilla-León M, Barmak AB, Lanis A, Kois JC. Influence of connected and nonconnected calibrated frameworks on the accuracy of complete arch implant scans obtained by using four intraoral scanners, a desktop scanner, and a

- photogrammetry system. *J Prosthet Dent.* 2024. doi:10.1016/j.prosdent.2024.01.017
26. Button H, Kois JC, Barmak AB, Zeitler JM, Rutkunas V, Revilla-León M. Scanning accuracy and scanning area discrepancies of intraoral digital scans acquired at varying scanning distances and angulations among 4 different intraoral scanners. *J Prosthet Dent.* 2024;132(5):1044–1060. doi:10.1016/j.prosdent.2023.01.025
 27. Azevedo L, Marques T, Karasan D, Fehmer V, Sailer I, Correia A, Gómez-Polo M. Effect of splinting scan bodies on the trueness of complete arch digital implant scans with 5 different intraoral scanners. *J Prosthet Dent.* 2024;132(2):204-210. doi:10.1016/j.prosdent.2023.06.015
 28. Kois JC, Kois DE, Ishikawa-Nagai S. Evaluating the accuracy of 3D printed dental models: the effect of scan distance and scan method. *J Prosthet Dent.* 2023;129(2):239–45. doi:10.1016/j.prosdent.2021.10.031.
 29. Revilla-León M, Fogarty R, Barrington JJ, Zandinejad A, Özcan M. Influence of scan body design and digital implant analogs on implant replica position in additively manufactured casts. *J Prosthet Dent.* 2020;124(2):202-10. doi:10.1016/j.prosdent.2019.07.011.
 30. Mizumoto RM, Yilmaz B. Intraoral scan bodies in implant dentistry: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2018;120:343-52.
 31. Jahn D. Scan Body for Determination of Positioning and Orientation of a Dental Implant. NT-Trading GmbH Assignee; US Patent 14 011 936; 2014.
 32. Rudolph H, Quaas S, Luthardt RG. Matching point clouds: Limits and possibilities. *Int J Comput Dent* 2002;5:155-64.
 33. Holst S, Persson A, Wichmann M, Karl M. Digitizing implant position locators on master casts: Comparison of a noncontact scanner and a contact-probe scanner. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:29-35.
 34. Karthhik R, Raj B, Karthikeyan BV. Role of scan body material and shape on the accuracy of complete arch implant digitalization. *J Oral Res Rev* 2022;14:114-20
 35. Moreira AH, Rodrigues NF, Pinho AC, Fonseca JC, Vilaça JL. Accuracy comparison of implant impression techniques: a systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015;17(suppl 2):e751-64
 36. Revilla-León M, Cascos R, Lawand G, Barmak AB, Kois JC, Gómez-Polo M. Accuracy of complete arch nonsplinting and noncalibrated splinting implant

- scanning techniques recorded by using five intraoral scanners. *J Prosthet Dent.* 2025;133(6):1581.e1-1581.e10. doi:10.1016/j.prosdent.2025.02.062
37. Park JM, Shim JS, Kim JE, Shin Y, Lee JH. Effects of scan body design and implant–scan body connection on the accuracy of implant impressions: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2024;132(5):1134-1143. doi:10.1016/j.prosdent.2023.02.013
38. Tawfik M, Attia A, El-Negoly S, Nassar H, Shakal M. Effect of saliva, scan body material, and scan body height on the transfer accuracy of a digital intraoral implant impression: an in-vitro study. *BMC Oral Health.* 2024;24:567. doi:10.1186/s12903-024-05199-1
39. Revilla-León M, Gómez-Polo M, Drone M, Barmak AB, Kois JC, Pérez-Barquero JA. Accuracy of complete arch implant scans recorded by using intraoral and extraoral photogrammetry systems. *J Prosthet Dent.* 2025 Feb 27;? (online ahead of print). doi:10.1016/j.prosdent.2025.01.041
40. Sharma N, Kumar S, Reddy PS, Singh G, Gupta A, Bhatnagar A. An in vitro study to compare the accuracy between conventional and digital impression techniques for implant dentistry. *IOSR J Dent Med Sci.* 2023;22(8):18-25