



**Universidad  
Europea**

ANÁLISIS IN VIVO DE LA EXACTITUD DE UN  
SISTEMA DE ESTEREOFOTOGRAMETRÍA BASADO  
EN SMARTPHONE PARA LA CAPTURA DE LA  
POSICIÓN DE IMPLANTES EN ARCADAS  
COMPLETAS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER DE PROTESIS IMPLANTOPROTESIS Y ESTETICA DENTAL

MADRID 2025

**AUTOR:** JOSE LUIS QUIRÓS SÁNCHEZ

**TUTOR:** ANDREA SANTAMARÍA

## Resumen:

El objetivo de este estudio fue evaluar *in vivo* la exactitud (trueness y precisión) del sistema de estereofotogrametría basado en smartphone PIC app®, utilizando el PIC system® como referencia, para el registro de la posición de implantes en arcadas completas. Se obtuvieron 5 capturas consecutivas con PIC app® y 1 con PIC system® en 10 arcadas edéntulas (8 maxilares y 2 mandibulares) de 8 pacientes, analizando 750 distancias euclídeas y 750 angulaciones relativas.

La trueness lineal media fue de  $21 \pm 16 \mu\text{m}$  y la trueness angular de  $0.20 \pm 0.17^\circ$ , valores comparables al sistema de referencia y dentro de los márgenes clínicamente aceptables para prótesis implantosoportadas de arcada completa. La precisión intratécnica mostró baja variabilidad entre registros. La longitud del tramo interimplante no influyó significativamente en la trueness ( $p > 0.05$ ). Se observaron diferencias entre arcadas en la trueness lineal (mayor desviación en el maxilar,  $p < 0.001$ ), y mayor precisión angular en arcada superior ( $p < 0.001$ ). Aunque sin relevancia clínica.

Dentro de las limitaciones, los resultados indican que el PIC app® es una alternativa válida y fiable al PIC system® para la captura digital en rehabilitaciones completas sobre implantes, ofreciendo precisión adecuada y mayor accesibilidad gracias al uso de smartphones. Este estudio aporta la primera evidencia *in vivo* disponible sobre su rendimiento. Se recomienda ampliar el tamaño muestral y evaluar distintos operadores, condiciones de iluminación y modelos de smartphone.

**Palabras clave:** Arcadas completas; Estereofotogrametría; Exactitud; Fotogrametría extraoral; Impresiones sobre implantes; PIC app®; PIC system®; Precisión; Prótesis implantosoportadas; Smartphone.

**Abstract:**

The aim of this study was to evaluate *in vivo* the accuracy (trueness and precision) of the smartphone-based stereophotogrammetry system PIC app®, using the PIC System® as the reference, for recording implant positions in complete-arch cases. Five consecutive captures with PIC app® and one with PIC system® were obtained for 10 edentulous arches (8 maxillary and 2 mandibular) from 8 patients, analyzing 750 Euclidean distances and 750 relative angles.

The mean linear trueness was  $21 \pm 16 \mu\text{m}$ , and the mean angular trueness was  $0.20 \pm 0.17^\circ$ , values comparable to the reference system and within clinically acceptable thresholds for full-arch implant-supported prostheses. Intratechnical precision showed low variability across repeated scans. Interimplant span did not significantly influence trueness ( $p > 0.05$ ). Differences between arches were observed in linear trueness (greater deviation in the maxilla,  $p < 0.001$ ), and angular precision was higher in the maxillary arch ( $p < 0.001$ ), although these differences lacked clinical relevance.

Within the limitations of this study, the results indicate that the PIC app® is a valid and reliable alternative to the PIC system® for digital capture in full-arch implant rehabilitations, offering adequate accuracy and improved clinical accessibility through smartphone-based acquisition. This study provides the first available *in vivo* evidence on its performance. Further research should include larger sample sizes, different operators, controlled lighting conditions, and comparisons across smartphone models.

**Keywords:** Complete arches; Extraoral photogrammetry; Implant-supported prostheses; Implant impressions; PIC app®; PIC system®; Precision; Smartphone; Stereophotogrammetry; Trueness.

# Contenido

<b>1.Introducción</b> .....	1
<b>1.1 Ajuste Pasivo</b> .....	1
<b>1.2 Evolución de las Técnicas de Impresión</b> .....	3
<b>1.2.1 Exactitud, veracidad y precisión</b> .....	3
<b>1.1.2 Técnica Convencional</b> .....	4
<b>1.1.3 Impresiones Digitales</b> .....	4
<b>2.2 Fotogrametría</b> .....	6
<b>2.2.1 Clasificación de sistemas de fotogrametría</b> .....	7
<b>2.2.1 PIC dental®</b> .....	10
<b>2.2.2 PIC system</b> .....	10
<b>2.2.3 Flujo de trabajo clínico</b> .....	13
<b>2.3 Nueva tecnología</b> .....	13
<b>2.3.1 Smartphones en Odontología</b> .....	13
<b>2.3.2 PIC app®</b> .....	14
<b>3. Justificación</b> .....	16
<b>4. Objetivos Del Estudio e Hipótesis</b> .....	18
<b>4.1Objetivo Principal:</b> .....	18
<b>4.2 Objetivos Específicos:</b> .....	18
<b>4.3 Hipótesis (H):</b> .....	18
<b>5.Materiales y Métodos</b> .....	20
<b>5.1 Diseño del estudio</b> .....	20
<b>5.2 Población y muestra</b> .....	20
<b>5.2.1 Muestra</b> .....	20
<b>5.2.2 Criterios de inclusión</b> .....	21
<b>5.2.3 Criterios de exclusión</b> .....	21
<b>5.3 Intervención</b> .....	21
<b>5.4 Equipamiento:</b> .....	22
<b>5.5 Procedimiento clínico</b> .....	22
<b>5.6 Aplicación práctica de los datos:</b> .....	23

<b>6. Estadística</b> .....	24
<b>6.1 Cálculo del tamaño muestral</b> .....	24
<b>6.2 Análisis Estadístico</b> .....	25
<b>7. Desarrollo Del Estudio</b> .....	26
<b>7.1 Toma De Impresiones</b> .....	26
<b>7.1.2 Toma de impresiones en paciente que inicia tratamiento de prótesis</b> .....	26
<b>7.1.3 Toma De Impresiones Con PIC dental® En Paciente De Mantenimiento De Su Prótesis</b> .....	27
<b>7.2 Procesado de la información</b> .....	29
<b>7.2.1 Medición de angulaciones y distancias euclídeas.</b> .....	29
<b>7.2.2 Procedimiento de Análisis</b> .....	30
<b>7.2.3 Determinación de distancias euclídeas</b> .....	32
<b>7.2.4 Cálculo de las angulaciones relativas:</b> .....	33
<b>8. Resultados</b> .....	35
<b>8.1 Descripción de la muestra</b> .....	35
<b>8.2 Análisis de Exactitud</b> .....	36
<b>8.2.1 Trueness PIC app</b> .....	36
<b>8.2.3 Exactitud lineal según tipo de arcada y tramo interimplantario</b> .....	36
<b>8.2.4 Exactitud angular según tipo de arcada y tramo interimplantario</b> .....	38
<b>8.2.5 Precisión PIC app</b> .....	39
<b>9. Discusión</b> .....	41
<b>9.1 Justificación Metodológica</b> .....	41
<b>9.1.1 Relevancia del método de medición en estudios de impresión tridimensional</b> .....	41
<b>9.1.2 Distancias euclídeas vs. RMS</b> .....	42
<b>9.1.3 Análisis PIC System y PIC App</b> .....	44
<b>9.1.4 PIC system como referencia</b> .....	45
<b>9.2 Discusión de Resultados</b> .....	47
<b>9.2.1 Exactitud del PIC app®</b> .....	47
<b>9.2.2 Precisión intratécnica del PIC App®</b> .....	50
<b>9.2.3 Limitaciones:</b> .....	51
<b>9.2.4 Recomendaciones para Futuras investigaciones.</b> .....	51
<b>10. Conclusiones</b> .....	53
<b>11 Referencias</b> .....	54



## **1.Introducción**

El edentulismo sigue siendo una condición prevalente en los pacientes, ha sido tratada históricamente con prótesis removibles. El hecho de que haya sido la solución durante tantos años no las exime de presentar inconvenientes como dificultad para hablar, problemas de retención, estabilidad, dolor, problemas para comer o la imposibilidad de usar la prótesis.<sup>1</sup> Con el avance de las rehabilitaciones sobre implantes, hoy en día consideradas como el tratamiento ideal, la calidad de vida de los pacientes ha mejorado significativamente<sup>2</sup>.

### **1.1 Ajuste Pasivo**

El éxito a largo plazo de las prótesis sobre implantes depende en gran medida del ajuste pasivo, definido como la máxima congruencia espacial entre las superficies de los implantes y la estructura protésica. La falta de esta relación genera tensiones nocivas que pueden causar complicaciones mecánicas, como el aflojamiento o fractura de tornillos y fallos en las superestructuras, aunque no existe evidencia directa de una relación entre el nivel de desajuste y la pérdida ósea periimplantaria<sup>3</sup>.

Diversos autores han propuesto rangos clínicamente aceptables de desajuste. Brånemark en 1985 plantea un valor ideal de menos de  $10\ \mu\text{m}^3$ , considerado teórico y clínicamente inalcanzable. Más adelante, Jemt y Book en 1996 reportan valores de hasta  $275\ \mu\text{m}$  sin asociación con complicaciones biológicas<sup>4</sup>. Jemt y Lie propusieron en sus estudios que un desajuste menor a  $150\ \mu\text{m}$  es aceptable, ya que corresponde a la distancia mínima necesaria para que al menos media rosca del tornillo utilizado en el estudio entre en contacto, lo cual se considera suficiente para garantizar la estabilidad mecánica del mismo<sup>5</sup>. Además, estos autores y otros trabajos posteriores establecen que una desviación angular de hasta  $1^\circ$  es el límite superior clínicamente aceptable para asegurar un ajuste pasivo, ya que desviaciones mayores pueden generar tensiones mecánicas significativas en la unión implante-prótesis y en el hueso circundante<sup>6,4</sup>

Manzella en 2016, en un estudio in vitro, evaluó estructuras de escayola atornilladas a implantes, sometidas a diferentes niveles de discrepancias en los ejes X, Y y Z.

No se observaron fracturas de las estructuras por debajo de 150  $\mu\text{m}$  en discrepancias horizontales, mientras que en vertical ninguna se fracturó por debajo de 30  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, todas las muestras fallaron con un cambio angular de tan solo 1°, resaltando el impacto mecánico que incluso pequeñas discrepancias angulares pueden tener. Aunque con las limitaciones propias de un estudio in vitro, este trabajo ofrece una representación importante de las consecuencias mecánicas que puede provocar el desajuste protésico.<sup>6</sup> Katsoulis, en una revisión sistemática, propuso una nueva clasificación en la que considera clínicamente aceptables los desajustes menores a 100  $\mu\text{m}$ , dado que no se relacionan con complicaciones biológicas ni mecánicas por debajo de ese umbral. Por el contrario, desajustes superiores a 100  $\mu\text{m}$ , y especialmente por encima de 150  $\mu\text{m}$ , se asocian con una mayor incidencia de complicaciones técnicas como deformaciones estructurales, fallos mecánicos, y la superación de la tolerancia biomecánica del sistema hueso-implante.<sup>7</sup>

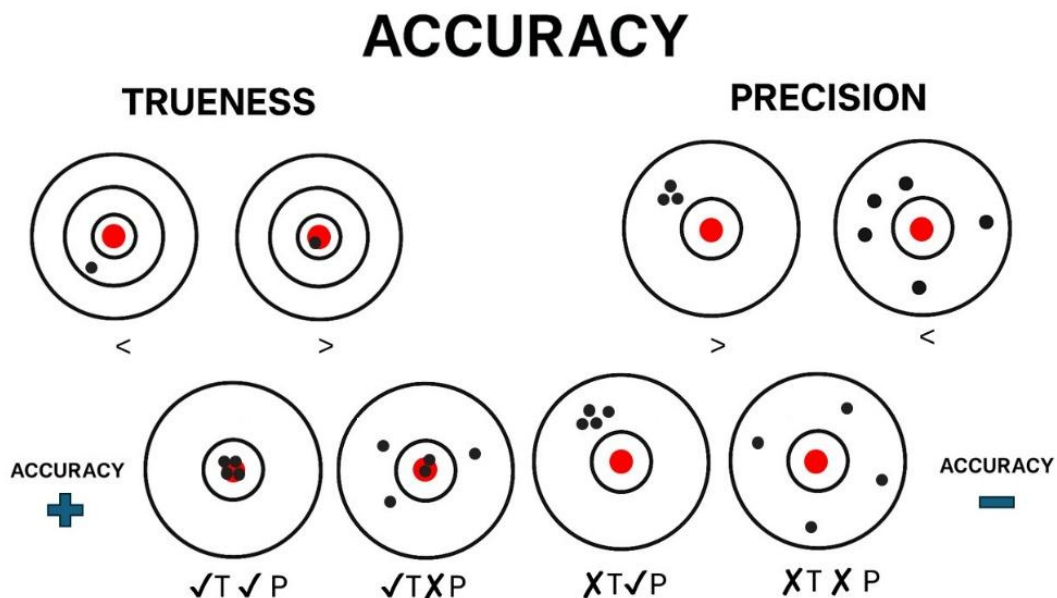
En la actualidad, con el respaldo científico diversos autores han adoptado los valores de 150  $\mu\text{m}$  de desajuste lineal y 1° de desviación angular como umbrales de referencia para evaluar la precisión y la viabilidad clínica de las estructuras protésicas sobre implantes en sus estudios.<sup>8,9,10</sup> Sin embargo es necesario recalcar que por la heterogeneidad de los estudios y la cantidad de factores que influyen en el ajuste de una prótesis es difícil extrapolar los valores de imprecisión de los datos obtenidos por mediciones virtuales a llegar a relacionarlos con los desajustes reales clínicamente medibles.

Para mantenerse dentro de estos márgenes clínicamente aceptables, resulta indispensable confeccionar un modelo de trabajo fiable, lo cual depende directamente de la precisión en la transferencia de la posición tridimensional de los implantes desde el entorno intraoral al modelo maestro, proceso que se logra mediante una técnica de impresión adecuada.<sup>11</sup>

## 1.2 Evolución de las Técnicas de Impresión.

### 1.2.1 Exactitud, veracidad y precisión

La norma ISO 5725-1 define “accuracy” (exactitud) como un concepto general que describe qué tan correcto es un sistema de medición. Esta exactitud se compone de dos elementos clave: “trueness” y “precision”. Trueness (veracidad) se refiere a qué tan cerca está el resultado promedio de varias mediciones con respecto al valor real o verdadero. En cambio, precision (precisión) indica qué tan consistentes son los resultados entre sí cuando se repite la medición. Es decir, un sistema puede ser preciso (los resultados se parecen entre ellos), pero no veraz (lejos del valor real), o veraz pero no preciso (los resultados están cerca del valor real, pero son variables entre sí). Para lograr una alta exactitud en el contexto clínico, como en la impresión sobre implantes, es fundamental que el sistema sea tanto veraz como preciso, asegurando así una transferencia fiel de la posición tridimensional de los implantes al modelo de trabajo.<sup>12</sup>



**Figura 1.1.** Esquema ilustrativo de los conceptos de *accuracy*, *trueness* y *precision* según la norma ISO 5725-1.

### **1.1.2 Técnica Convencional**

Las técnicas convencionales de impresión han demostrado ser confiables a lo largo del tiempo. No obstante, están sujetas a distorsiones y errores propios tanto del material como de la técnica empleada. Diversos estudios han comparado variables como el tipo de cubeta (abierta o cerrada) y el uso de ferulizaciones, destacando la superioridad de la ferulización metálica en términos de precisión dimensional. Las técnicas no ferulizadas pueden presentar distorsiones de entre 38,7  $\mu\text{m}$  hasta 172,42  $\mu\text{m}$ <sup>13</sup>, una variabilidad amplia y sensible al protocolo clínico elegido, que sumada al resto de desviaciones a lo largo del flujo de trabajo protésico pueden traducirse en desajustes clínicamente inaceptables.

Las técnicas convencionales suponen un tratamiento incómodo para muchos pacientes, generando reflejos nauseosos y prolongando significativamente la duración del procedimiento.<sup>14</sup>

### **1.1.3 Impresiones Digitales**

Con la llegada de las tecnologías CAD-CAM y los escáneres intraorales (IOS), las impresiones digitales han ganado protagonismo en la clínica diaria. Estas eliminan errores asociados al material de impresión y la manipulación del vaciado, pero su uso en rehabilitaciones sobre implantes múltiples, especialmente en arcadas completas, sigue siendo tema de debate. Varios estudios <sup>15</sup><sup>16</sup><sup>17</sup> han mostrado que, aunque los IOS ofrecen precisión alta en casos unitarios o de tramos cortos su exactitud disminuye conforme aumenta la extensión escaneada. En arcadas completas, las discrepancias lineales pueden llegar de 103  $\mu\text{m}$  hasta 193  $\mu\text{m}$ <sup>18</sup>.

En respuesta a estas limitaciones, se han propuesto distintas estrategias para mejorar la precisión de las impresiones digitales en arcadas completas. Una de las más estudiadas es la ferulización de los pilares de impresión digital o scan bodies (ISBs), que consiste en conectar físicamente los scan bodies entre sí mediante estructuras impresas o fresadas, sirviendo de guía para el escáner aumentando las referencias visuales, disminuyendo la distancia interimplantar y así reducir los errores por stitching. Se ha demostrado que esta técnica, especialmente cuando se

realiza con marcos metálicos fresados o impresos en resina 3d, puede disminuir significativamente las discrepancias lineales y angulares. Revilla-León et al. encontraron discrepancias lineales que iban desde 61  $\mu\text{m}$  hasta 157  $\mu\text{m}$  cuando los scan bodies se utilizaban de manera convencional sin unirlos. Al aplicar técnicas de ferulización los errores se redujeron a un rango de 44  $\mu\text{m}$  a 115  $\mu\text{m}$ . La mayor precisión se alcanzó al utilizar un marco calibrado metálico el cual se corrige en un proceso de laboratorio posterior dónde se compara con el marco inicial y reposicionan los implantes si es necesario, contra la ferulización normal con resina que sirve simplemente como guía, evidenciando una mejora significativa en la exactitud de los escaneos de arcada completa.<sup>18</sup> Sin embargo en otro estudio como el de Azevedo no encontró diferencias entre ferulizar o no los scan bodies, sino que la veracidad se vio más afectada por el sistema de escaneo.<sup>19</sup>

En paralelo, múltiples casas comerciales han optimizado el diseño de sus scan bodies para adaptarse mejor a este tipo de rehabilitaciones. Buscan, mediante elongaciones en sus diseños, disminuir las brechas edéntulas, crear referencias geométricas adiciones entre implantes y minimizar la distancia interimplantaria durante el escaneo, con el objetivo de reducir los errores generados durante el proceso de stitching.<sup>20</sup> En un estudio in vitro los ISB con extensión obtuvieron mejor trueness que los ISB sin extensión (28.45  $\mu\text{m}$  – 38.5  $\mu\text{m}$ ) sin embargo la impresión convencional con ferulización tuvo mejores resultados 22.55 $\mu\text{m}$ .<sup>20</sup>

Además del diseño y la longitud, diversos factores influyen en la precisión de los scan bodies, como su forma, el material de fabricación, la textura superficial, la ubicación en la arcada y la angulación del implante. Todos estos elementos pueden impactar en la fidelidad del escaneo digital, especialmente en rehabilitaciones sobre múltiples implantes.<sup>17</sup> Factores clínicos como la presencia de saliva, la movilidad de los tejidos blandos, el acceso limitado en zonas posteriores y el nivel de colaboración del paciente también pueden comprometer la calidad del registro. Como señalan Revilla-León et al. estas variables afectan directamente el proceso de stitching o matching by overlapping, mediante el cual el software del escáner une múltiples capturas secuenciales para generar el modelo tridimensional. La

acumulación de errores durante este proceso representa una de las principales limitaciones en escaneos de arcadas completas. A pesar de los avances en las técnicas digitales, la precisión de las impresiones intraorales en arcadas completas sigue siendo variable, con rangos reportados entre 42  $\mu\text{m}$  y 185  $\mu\text{m}$  para la veracidad y entre 4.7  $\mu\text{m}$  y 104  $\mu\text{m}$  para la precisión, influenciados por factores técnicos, clínicos y del operador.<sup>21</sup> En este contexto, diversos estudios han señalado que las impresiones digitales de arcada completa obtenidas con escáneres intraorales no son consistentemente precisas para su aplicación clínica, especialmente en pacientes totalmente edéntulos. Su exactitud depende de muchos factores que es son difíciles de protocolizar en un ambiente dónde hay tantos sistemas con diferentes componentes para impresión digital y los casos deben analizarse cuidadosamente<sup>192122</sup>

Sin embargo, a pesar de que tanto las impresiones digitales como las convencionales presentan variabilidad en su precisión, estudios coinciden en que los pacientes suelen preferir las impresiones digitales debido a su mayor comodidad, menor tiempo clínico y menor invasividad.<sup>14</sup> Esta preferencia, junto con la continua evolución tecnológica, ha motivado la búsqueda de alternativas que superen las limitaciones actuales del escaneo intraoral, especialmente en arcadas completas. Debido a esto, la fotogrametría ha resurgido como una opción prometedora, al ofrecer un sistema independiente del stitching y menos sensible a factores clínicos.

## **2.2 Fotogrametría**

La fotogrametría se define como la técnica de determinar la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, a partir de medidas tomadas sobre o con el uso de fotografías<sup>23</sup>. Fue introducida en odontología por Lie y Jemt en 1994 como una técnica tridimensional para determinar con alta precisión la posición espacial de implantes dentales, inicialmente con el objetivo de valorar el ajuste pasivo de las prótesis y cuantificar desajustes. Utilizaba cámaras fotográficas calibradas convencionales de la época y marcadores esféricos metálicos adheridos

a pilares conectados a los implantes, permitiendo reconstruir mediante triangulación la geométrica la posición de los implantes.<sup>24</sup>

En su momento, esta técnica ofrecía una alternativa precisa (5 µm) y reproducible frente a otros métodos. Sin embargo, su complejidad técnica, el uso de hardware voluminoso, y sobre todo la incompatibilidad con el flujo de trabajo de laboratorio de la época a falta de sistemas CAD-CAM limitaron su aplicación práctica durante años, a pesar de su gran potencial.

Fue dos décadas después en el 2014, con el trabajo de Pradíes et al., cuando se describió por primera vez en la literatura el uso clínico de un sistema de estereofotogrametría (PIC Dental ®) para registrar directamente la posición de múltiples implantes en boca.<sup>25</sup>

Este sistema, que se le describió como estereofotogrametría porque se basaba en la captura simultánea de imágenes mediante dos o más cámaras colocadas y calibradas en diferentes ángulos, a diferencia de los escáneres intraorales convencionales no se ve afectado por el cosido de mallas.<sup>25</sup>

### **2.2.1 Clasificación de sistemas de fotogrametría**

En la actualidad, han surgido diversos sistemas basados en fotogrametría para capturar la posición tridimensional de los implantes. Fu et al. describen una clasificación de estos sistemas de adquisición óptica, diferenciándolos según su modo de captura y ubicación. Según su descripción, la fotogrametría intraoral hace referencia a los escáneres intraorales que pueden integrar funciones tanto de escaneo convencional como de fotogrametría, mientras que la fotogrametría extraoral corresponde a dispositivos que utilizan cámaras externas calibradas para capturar simultáneamente múltiples imágenes desde fuera de la cavidad oral.<sup>26</sup>

Esta distinción no solo implica una diferencia en la ubicación del dispositivo, sino también en el principio de adquisición de datos: la fotogrametría intraoral se basa en la captura secuencial y el empalme de imágenes (stitching), mientras que la fotogrametría extraoral se apoya en la triangulación simultánea de múltiples vistas, lo que reduce la acumulación de errores.<sup>26</sup>

Sin embargo, presenta algunas limitaciones. No permite registrar tejidos blandos, por lo que suele requerir una segunda toma para completar la información anatómica. No está indicada para casos de implantes unitarios, siendo indicada a partir de 2 o más implantes, lo que lo hace ser más utilizado en casos de arcada completa y aunque reduce la dependencia del operador respecto a los escáneres intraorales, aún exige una correcta técnica para garantizar resultados precisos.<sup>27282930</sup>

A la fecha de realización del presente estudio, se identifican los siguientes sistemas de fotogrametría disponibles en el mercado: *PIC system® (PIC Dental)*, *iCam4D® (Imetric)*, *MicronMapper® (ClaroNav)*, *FastMap® (X-Nav Technologies)*, *Palm® (Scedent)*, *OxoFit® (OXO)* y *Grammee® (BlueSkyBio)*, *Aoralscan Elite® (Shining 3D)*, *Freedom Air® (DOF)*<sup>30</sup>

<b>Fotogrametría extraoral</b>	<b>Fotogrametría Intraoral</b>
PIC system® (PIC Dental, España)	Aoralscan Elite® (Shining 3D, China)
iCam4D® (Imetric, Suiza )	
MicronMapper® (ClaroNav, Canadá)	
FastMap® (X-Nav Technologies EEUU)	Freedom Air® (DOF, Corea del Sur)
Palm® (Scedent, China)	
OxoFit® (OXO, Corea del Sur)	

**Tabla 2.1** Clasificación de sistemas de fotogrametría

Diversos estudios han demostrado que los sistemas basados en fotogrametría presentan una mayor precisión que los escáneres intraorales (IOS) al registrar impresiones digitales de arcadas completas sobre implantes. La revisión sistemática y metaanálisis de Jain et al.<sup>31</sup> concluyó que los sistemas de fotogrametría como PIC dental, ICam4D, Oxo Fit y MicronMapper superan significativamente a los IOS en términos de precisión, especialmente en escenarios clínicos con múltiples implantes. En un estudio in vivo, Orejas-Pérez et al.<sup>28</sup> encontraron que el sistema PIC dental mostró una precisión superior y una menor variabilidad angular y lineal en comparación con Trios 3 y True Definition, independientemente del tipo de arcada o la distancia entre implantes. De igual manera, Sallorenzo y Gómez-Polo<sup>9</sup>, en un estudio in vitro, reportaron que el PIC obtuvo desviaciones lineales (20  $\mu\text{m}$  paralelos, 10  $\mu\text{m}$  angulados) y angulares (0.354° y 0.084°, respectivamente) considerablemente menores que el IOS convencional TRIOS 3 (100  $\mu\text{m}$  y 23  $\mu\text{m}$ ; 1.177° y 0.529°), con diferencias estadísticamente significativas. En conjunto, la evidencia respalda que los sistemas de fotogrametría ofrecen una mayor fidelidad para capturar la posición tridimensional de los implantes en arcadas edéntulas completas,<sup>83132</sup> lo cual es esencial para lograr un ajuste pasivo en las prótesis implantosoportadas.

Si se comparan los tipos de fotogrametría intraoral (IPG) y fotogrametría extraoral (EPG) Fu et al.<sup>26</sup> en su estudio demostraron que la técnica IPG obtuvo una precisión comparable a EPG, con una menor desviación lineal ( $28.59 \pm 24.75 \mu\text{m}$ ) y el error RMS más bajo de todos los grupos ( $26.37 \pm 1.02 \mu\text{m}$ ). Por su parte, la técnica EPG presentó la mejor precisión ( $2.30 \pm 1.31 \mu\text{m}$ ), seguida de IPG ( $4.12 \pm 0.87 \mu\text{m}$ ), aunque sin diferencias significativas entre ellas. Tanto IPG como EPG superaron significativamente en precisión y exactitud a los métodos con escáneres intraorales.<sup>26</sup>

Concuerdan con los datos obtenido por Revilla et Al dónde compara la precisión y exactitud lineal y angular de cinco sistemas de fotogrametría (PG), cuatro extraorales (PIC system®, Icam4D®, Grammee® y OxoFit®) y uno intraoral (Aoralscan Elite®). Los resultados mostraron diferencias estadísticamente

significativas entre los sistemas evaluados. El sistema PIC obtuvo la mejor precisión lineal y angular del grupo, seguido de Icam4D, que también demostró una elevada precisión lineal. En cuanto a la exactitud angular, el sistema Grammee presentó los mejores resultados, mientras que PIC volvió a destacar con la mejor precisión angular. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el sistema intraoral Aoralscan Elite y los sistemas extraorales Grammee y OxoFit, lo que indica que, a la fecha del estudio, la precisión de los sistemas intraorales con PG integrados puede ser comparable a algunos sistemas extraorales. No obstante, las discrepancias lineales (17–30  $\mu\text{m}$ ) y angulares (0.17–0.34°) encontradas entre todos los sistemas evaluados no se consideran clínicamente relevantes para la confección de prótesis sobre implantes en arcadas completas.<sup>33</sup>

### **2.2.1 PIC dental®**

PIC Dental® (Precise Implant Capture) es una tecnología de estereofotogrametría desarrollada para registrar la posición tridimensional de los implantes dentales en rehabilitaciones múltiples. Fue creada en 2008 por un ingeniero español como respuesta a las limitaciones que presentaban los métodos convencionales de impresión sobre implantes.

PIC dental® representa un ecosistema tecnológico compuesto por hardware, software y protocolo operativo, diseñado para estandarizar y optimizar la precisión de las impresiones digitales sobre implantes. Se trata de un sistema integral que abarca todo el flujo de trabajo digital, desde la captura de datos hasta la generación del archivo final destinado al diseño y fabricación protésica. Su funcionamiento combina hardware (Sistemas de fotogrametría extraoral), software propietario y un protocolo clínico-laboratorio estandarizado.

### **2.2.2 PIC system**

El PIC System® es un sistema de fotogrametría extraoral diseñado para capturar la posición tridimensional de los implantes mediante el uso de una cámara estereoscópica especializada. El sistema obtiene imágenes de los marcadores colocados sobre los implantes (PIC transfers®), las cuales son procesadas por algoritmos específicos que generan un archivo virtual exportable en formato STL.

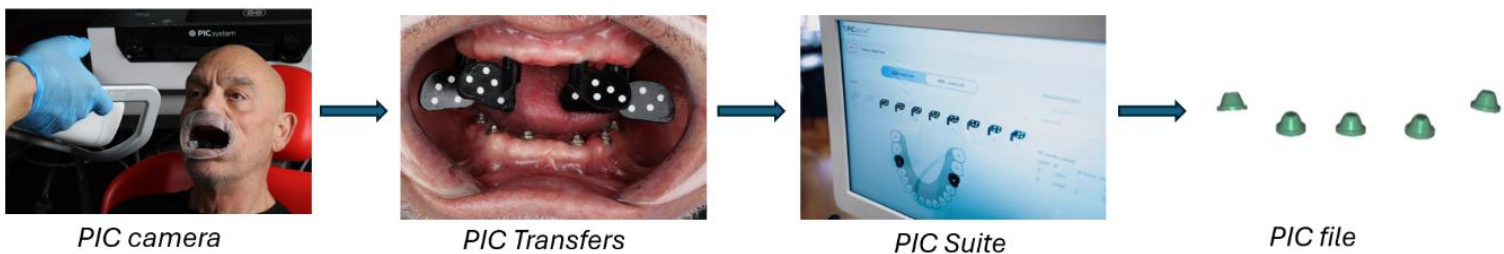
Este archivo contiene la posición tridimensional de los implantes y puede alinearse con la información de los tejidos blandos del paciente (obtenida mediante una impresión convencional o un escaneo intraoral) para generar el modelo virtual de trabajo que servirá como base para el diseño y la fabricación CAD/CAM de la prótesis definitiva. Todo este flujo de trabajo se integra dentro del ecosistema digital del PIC Dental®.

Se compone de cuatro elementos:

1. **PIC camera®**: contiene dos cámaras estereoscópicas equipadas con filtros que bloquean todas las longitudes de onda excepto las del rango infrarrojo. Cada cámara captura alrededor de 60 imágenes por segundo, registrando la posición de los PIC transfers® atornillados a los implantes.<sup>34</sup>
2. **PIC transfers®**: son transfers de fotogrametría que pueden atornillarse directamente sobre el implante o sobre un pilar intermedio. Están fabricados en material termoplástico de alto rendimiento, biocompatible, esterilizable y con gran estabilidad dimensional y química. Presentan una codificación única grabada en su superficie, vinculada a un número de serie y lote, lo que permite su trazabilidad y relación directa con la biblioteca digital correspondiente.<sup>34</sup>
3. **PIC suite®**: es el software central que gestiona el flujo de trabajo digital del PIC system®. Está diseñado para preparar los casos clínicos, procesar los datos de la posición tridimensional de los implantes y generar el archivo digital PIC file®. El sistema integra Instant Capture®, un algoritmo de medición de última generación basado en procesamiento multihilo que realiza el cálculo simultáneo de las posiciones y angulaciones de todos los implantes visibles, completando la captura completa en menos de un segundo.<sup>34</sup>
4. **PIC file®**: El archivo digital que contiene los datos vectoriales de los implantes. Se exporta en el formato abierto STL e incluye todas las posiciones de implantes interrelacionadas, inalterables e indivisibles después de la captura y procesamiento. Es compatible con la mayoría de las

soluciones principales de softwares de CAD. Y se puede exportar con las librerías de “Scan Markers” deseadas, como podrían ser los pilares intermedios, pilares de cicatrización, la propia cabeza del implante entre otros.<sup>34</sup>

Diversos estudios han consolidado al PIC system® como una tecnología de referencia en la obtención de la posición de los implantes en arcadas completas. Investigaciones tanto clínicas como in vitro, como las de Pozzi et al.<sup>827</sup>, Revilla-León et al.<sup>3335</sup>, Jain<sup>31</sup>, Estibalez-Recasens et al<sup>29</sup>, Orejas-Pérez et al.<sup>28</sup> y Tohme et al<sup>36</sup>, han demostrado que el sistema PIC ofrece una mayor precisión y exactitud que los escáneres intraorales, manteniéndose por debajo de los umbrales clínicamente aceptables de discrepancia incluso en condiciones clínicas exigentes. Además, se han documentado resultados predecibles en términos de ajuste pasivo y reducción de complicaciones protésicas<sup>10</sup>, lo que posiciona al sistema PIC como una herramienta validada científicamente para impresiones digitales. Su uso como tecnología de control o comparación en múltiples investigaciones, así como su creciente adopción clínica, refuerzan su consideración como estándar metodológico en estudios que evalúan sistemas de escaneado digital en implantología oral.



**Figura 2.1.** Esquema del flujo de trabajo del PIC System

### **2.2.3 Flujo de trabajo clínico**

Como característica de los sistemas de fotogrametría extraoral, la cámara no registra los tejidos blandos por lo que su flujo necesita de la combinación de dos registros complementarios: el PIC file® y el escaneado de los tejidos blandos. El PIC file se puede exportar en formato STL, donde se renderiza la geometría 3D de los scan markers provenientes de una librería digital, colocados en la posición exacta de cada implante. Posteriormente, los tejidos blandos del paciente se escanean mediante un escáner intraoral o impresión convencional que se escanea extraoralmente, obteniendo la información de la mucosa y la geometría física de los mismos scan markers capturados directamente en boca. Esta información también se exporta como archivo STL. Ambos archivos se alinean utilizando como referencia los landmarks geométricos comunes de los scan markers, permitiendo generar un modelo de trabajo digital. En este modelo, las posiciones de los implantes quedan determinadas por el PIC file, mientras que los tejidos blandos proporcionan el resto de la superficie sobre cual se diseñará la prótesis. Este flujo es compatible con los principales softwares de diseño CAD dental, como 3Shape Dental System™ (3Shape A/S, Dinamarca) o exocad® DentalCAD (Align Technology Inc., EE. UU.).

## **2.3 Nueva tecnología**

### **2.3.1 Smartphones en Odontología**

Desde su aparición en 2007, los smartphones han pasado de ser simples medios de comunicación a convertirse en herramientas multifuncionales con cámaras de alta resolución, sensores avanzados y capacidad de procesamiento gráfico. Estas características han despertado un creciente interés en su aplicación en el ámbito biomédico y odontológico.

En odontología, los smartphones se emplean ampliamente para la fotografía clínica, la coincidencia digital de color y la comunicación entre clínica y laboratorio <sup>42-49</sup>. Su facilidad de uso, accesibilidad y conectividad inmediata los han posicionado como un complemento eficaz dentro del flujo de trabajo digital. Aunque las cámaras réflex digitales (DSLR) continúan siendo el estándar de referencia, las cámaras de los

smartphones, junto con accesorios como Smile Lite MDP u Optrashade, permiten obtener imágenes de alta calidad de forma rápida y sencilla, facilitando el diagnóstico, la planificación y la documentación clínica.

Además, comparados con los arcos faciales convencionales, los registros virtuales realizados mediante escáneres 3D de smartphones han demostrado mayor precisión<sup>50</sup>. De igual forma, la exactitud de los escáneres compatibles con dispositivos móviles para la digitalización facial se ha reportado como clínicamente aceptable, consolidando su potencial como herramienta viable en la planificación digital y el registro tridimensional de la anatomía facial.

En el campo de la colorimetría dental, los smartphones representan una alternativa económica y funcional frente a los espectrofotómetros tradicionales, especialmente en entornos donde se prioriza la simplicidad y la portabilidad.

El rápido avance en las cámaras fotográficas integradas en los smartphones, junto con la mejora de sus sensores ópticos y algoritmos de procesamiento de imagen, ha reducido significativamente la brecha entre los dispositivos móviles y los equipos profesionales. Estos progresos han consolidado el papel de los smartphones como instrumentos útiles, accesibles y cada vez más precisos dentro de la odontología digital.

### **2.3.2 PIC app®**

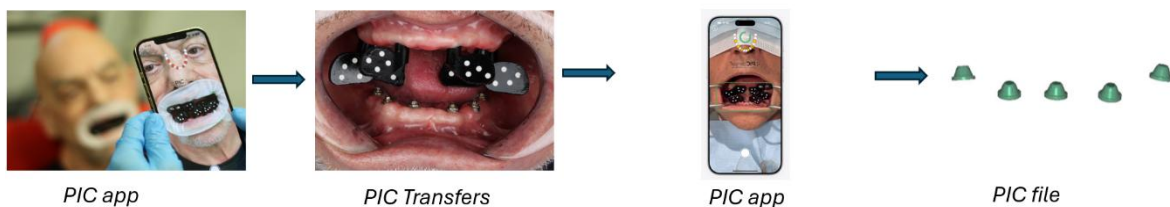
El PIC system® ha sido ampliamente validado como un método preciso de fotogrametría para el registro tridimensional de implantes en prótesis de arcada completa. Sin embargo, el elevado coste del equipo ha limitado su adopción en la práctica clínica diaria<sup>30</sup>. Con el objetivo de ampliar el acceso a esta tecnología, se ha desarrollado el PIC app®, una versión portátil que emplea la cámara de un smartphone y una aplicación móvil específica.

Ambos sistemas (PIC system® y PIC app®) forman parte del ecosistema digital de PIC dental®, utilizan los mismos transferentes ópticos (PIC transfers®) y generan un archivo de salida (PIC file®) con características comparables. No obstante, presentan diferencias sustanciales en su funcionamiento. El PIC app® tiene como

función capturar una serie de fotografías de los marcadores de los implantes mediante la cámara del smartphone. Durante la captura, se obtienen entre 15 y 25 imágenes desde diferentes ángulos, las cuales se envían directamente a la plataforma en la nube (PIC cloud®), donde son analizadas y procesadas en tiempo real.

La aplicación proporciona retroalimentación continua sobre el progreso. Cuando el algoritmo determina que se han registrado imágenes suficientes y con calidad adecuada para calcular la posición espacial de los PIC transfers®, la captura se detiene de forma automática y se genera el PIC file. Posteriormente, el usuario selecciona el tipo de scan marker para renderizar el archivo final y exportarlo con el fin de integrarlo en el flujo CAD/CAM para la confección de la prótesis definitiva. Este archivo debe alinearse con la impresión de los tejidos blandos (digital o convencional) para obtener el modelo maestro virtual.

A diferencia del PIC system®, donde es necesario definir referencias manuales, el PIC app® identifica y selecciona automáticamente la mejor referencia durante el procesamiento. Para orientar al usuario durante la captura, la aplicación utiliza un sistema de codificación por colores: rojo indica que un PIC transfer® no ha sido detectado en ninguna imagen, amarillo que ha sido localizado al menos en una, y verde que ha sido detectado correctamente en un mínimo de diez imágenes, condición necesaria para su inclusión en el cálculo final.



**Figura 2.2.** Esquema del flujo de trabajo del PIC System

### 3. Justificación

El sistema PIC App® representa un avance importante respecto a su versión original, al trasladar gran parte del procesamiento al software que se encuentra en un servidor, quitando la mayoría de responsabilidad al hardware que al final funciona simplemente como un captador de imágenes. Este software utiliza algoritmos avanzados capaces de analizar en la nube las imágenes capturadas mediante un smartphone. Este diseño reduce significativamente los costos de producción y facilita la portabilidad y el transporte, haciendo que sea potencialmente mucho más accesible económicamente para las clínicas.

En contraste, el PIC system® tradicional constituye un dispositivo de un coste considerable, lo cual restringe su adopción a un número limitado de clínicas. Su inversión inicial lo sitúa en un nicho muy específico de centros con alto volumen de rehabilitaciones, ya que, a diferencia de los escáneres intraorales, el PIC system® no puede emplearse para otras funciones clínicas ni sustituye un escáner intraoral. Esto implica que su adquisición se destina casi exclusivamente al registro de arcadas completas con múltiples implantes, lo que reduce su versatilidad y convierte su compra en una decisión económicamente exigente para muchas prácticas.

En un estudio in vitro reciente, Santamaría-Laorden et al. (2025) compararon directamente la precisión del PIC App® con la del PIC System®, observando diferencias absolutas muy pequeñas: 12.70  $\mu\text{m}$  en desviación lineal y 0.07° en desviación angular. Aunque los valores favorecieron ligeramente al sistema original y las diferencias fueron estadísticamente significativas por el gran tamaño muestral, su magnitud fue clínicamente irrelevante. Esto sugiere que un dispositivo basado en smartphone, considerablemente más económico, puede ofrecer un rendimiento comparable al del sistema de referencia.

A pesar de que la fotogrametría ha sido ampliamente estudiada en condiciones in vitro, la literatura coincide en la necesidad de más estudios in vivo que permitan evaluar su comportamiento en situaciones clínicas reales. El presente estudio busca no solo validar la precisión del PIC App® en pacientes, sino también explorar su

potencial para ampliar el acceso a la estereofotogrametría en un mayor número de clínicas, precisamente por su menor coste y facilidad de implementación. De confirmarse su equivalencia en entornos reales, esta tecnología podría democratizar el uso de la fotogrametría en la toma de registros sobre implantes dentales.

En definitiva, la validación clínica del PIC App® podría transformar el panorama de la odontología digital, permitiendo que la fotogrametría deje de ser una herramienta reservada para un nicho muy reducido y pase a formar parte del flujo de trabajo rutinario de más profesionales. Al día de la confección de este trabajo y según la literatura disponible, el presente constituye el primer estudio in vivo que evalúa la precisión y exactitud del PIC App® frente al PIC System®, aportando evidencia inicial para fundamentar futuras investigaciones sobre el uso de smartphones en estereofotogrametría dental.

## **4. Objetivos Del Estudio e Hipótesis**

### **4.1 Objetivo Principal:**

Evaluar in vivo la exactitud (trueness y precision) del sistema PIC app en la impresión de rehabilitaciones de arcada completa con múltiples implantes.

### **4.2 Objetivos Específicos:**

1. Analizar la influencia de las arcadas (maxilar o mandibular) sobre la exactitud (trueness y precision) del PIC app®.
2. Analizar la influencia de la distancia interimplantaria sobre la exactitud (trueness y precision) del PIC app®.

### **4.3 Hipótesis (H):**

**H1:** No existen diferencias significativas en la trueness del PIC App® respecto a PIC System® en condiciones clínicas in vivo.

**H2:** No hay diferencia significativa en la precisión y exactitud del sistema PIC app® entre arcada superior e inferior.

**H3:** La longitud del tramo interimplante no afecta significativamente la precisión ni la exactitud del sistema PIC app®

Las hipótesis se fundamentan en el principio de funcionamiento del sistema PIC App®, que emplea estereofotogrametría para registrar la posición de múltiples implantes mediante la identificación simultánea de marcadores en varias imágenes. Este método, al no depender de un proceso del cosido de mallas, es teóricamente menos susceptible al error acumulativo característico de los escáneres intraorales y debería mantener un rendimiento estable en distintas condiciones clínicas.

En primer lugar, dado que el PIC System® es el método de referencia validado y ambos sistemas se basan en la misma tecnología y marcadores, se plantea que la trueness obtenida por el PIC App® sea similar a la del sistema de referencia (H1).

En segundo lugar, aunque la arcada superior e inferior presentan diferencias anatómicas que podrían interferir en la captura (saliva, lengua, movilidad de tejidos, sombras), la estereofotogrametría no depende de una unión progresiva de imágenes, y por lo que se espera que la precisión y la exactitud se mantengan similares entre arcadas (H2).

Finalmente, debido a que el captador extraoral es amplio y la técnica captura simultáneamente todos los marcadores, no debería producirse un incremento del error conforme aumenta la distancia entre implantes. Por ello, se plantea que la longitud del tramo interimplantario no afecte de forma significativa la precisión ni la exactitud del sistema (H3).

En conjunto, estas hipótesis permiten evaluar si el PIC App® ofrece un comportamiento consistente, comparable al estándar de referencia y robusto frente a variaciones anatómicas o geométricas relevantes en rehabilitaciones implantosoportadas de arcada completa.

## **5. Materiales y Métodos**

### **5.1 Diseño del estudio**

**Tipo de proyecto de investigación:** estudio clínico, controlado, no aleatorizado.

El diseño no aleatorizado se justificó por el hecho de que cada arcada recibía ambos sistemas de impresión en condiciones idénticas, actuando como su propio control. Esto permitió comparar directamente la precisión y exactitud entre técnicas, sin que la aleatorización aportara valor adicional ni mejorara la validez interna del estudio.

**Localización:** Clínica Universitaria Odontológica de la Universidad Europea de Madrid

**Aprobación Ética:** Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación Clínica de la Fundación Jiménez Díaz (CEIm-FJD), según consta en el dictamen favorable emitido el 25 de febrero de 2025 (código CEI: PIC028-25\_OTROS). Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes, cumpliendo con los principios de la Declaración de Helsinki y la normativa vigente. ANEXO 1

### **5.2 Población y muestra**

#### **5.2.1 Muestra**

10 arcadas edéntulas completas en 8 pacientes de la Clínica Universitaria Odontológica de la UEM (CUO), portadores de al menos 6 implantes osteointegrados.

Para obtener la muestra, fue necesaria la colaboración de los alumnos del Máster en Prótesis, Implantoprótesis y Estética Dental de la Universidad Europea de Madrid y sus profesores, siendo ellos quienes seleccionaron a los pacientes que cumplían los criterios de inclusión en el estudio y realizarles la propuesta de su participación.

### **5.2.2 Criterios de inclusión**

Pacientes edéntulos de arcada completa, portadores de al menos 6 implantes osteointegrados sobre los cuales están colocados pilares intermedios tipo Multiunit®, y mayores de 18 años.

### **5.2.3 Criterios de exclusión**

- a. Pacientes que no cumplan con los criterios de inclusión.
- b. Rechazo a participar en el estudio y a firmar el *Consentimiento Informado*.

### **5.2.4 Descripción de la muestra**

8 pacientes de los cuales a 2 se les realizó una impresión de ambas arcadas, y 6 que se les realizaron impresiones de solo la arcada superior. Para un total de 8 arcadas superiores y 2 arcadas inferiores.

Los pacientes que participaron en este proyecto de investigación fueron seleccionados de forma controlada entre dos perfiles:

1. Pacientes en fase de fabricación de una prótesis fija sobre implantes, en quienes se realizó la toma de impresiones para elaborar el modelo de trabajo.
2. Pacientes ya rehabilitados con una prótesis de arcada completa sobre implantes, que acudieron a consulta para mantenimiento (desatornillado, higienización y recolocación de la prótesis).

A cada paciente se le entregó la hoja de información del estudio correspondiente a su grupo.

Si aceptaban participar en el mismo, se les entregaba el Consentimiento Informado que, una vez firmado por el paciente, era guardado por el investigador.

## **5.3 Intervención**

Variables recogidas:

- 1 impresión de implantes de arcada completa con PIC system por arcada.
- 5 impresiones de implantes de arcada completa con PIC app por arcada.

Condiciones controladas:

- Paciente sentado
- Luz natural
- Separador *Optrate*® (Ivoclar Vivadent)
- Único operador (10 años de experiencia en el uso de fotogrametría)

**Duración:** 6 meses

#### **5.4 Equipamiento:**

- Dispositivo móvil: iPhone 16 Pro (Apple Inc., Cupertino, CA, EE. UU.)
- Sistema PIC App® (Iditec North West S.L.): Aplicación del smartphone para tomar impresiones sobre implantes.
- PIC system® (Iditec North West S.L.): equipo de referencia clínica validado previamente para tomar impresiones sobre implantes.
- Geomagic Control X® (3D Systems Inc., Rock Hill, SC, EE. UU.): Software de análisis geométrico para análisis tridimensional, cálculo de distancias y ángulos
- Hoja de cálculo: Microsoft Excel® para registro y análisis preliminar.

#### **5.5 Procedimiento clínico**

En todos los pacientes se realizaron las siguientes impresiones digitales:

- Una impresión inicial con el sistema PIC system®, que se utilizó como referencia de exactitud.
- Cinco impresiones consecutivas con el sistema PIC app®

Cada impresión generó un archivo digital o modelo virtual (PIC file®) que se utilizó para analizar:

- 15 distancias euclídeas entre pares de implantes
- 15 angulaciones relativas

Para el total del estudio:

- 10 impresiones con PIC system® (1 por arcada)
- 50 impresiones con PIC app® (5 por arcada)

- 750 mediciones de distancia con PIC app (15 por impresión)
- 750 mediciones de angulación con PIC app (15 por impresión)

Se analizaron los datos obtenidos de las cinco impresiones consecutivas realizadas con el sistema PIC App® para cada arcada, con el objetivo de evaluar su precisión intratécnica, es decir, la habilidad del sistema para repetir con fiabilidad la ubicación tridimensional de los implantes.

Asimismo, los valores obtenidos con PIC app® fueron comparados con la impresión inicial realizada con PIC System®, que actuó como sistema de referencia, lo que permitió determinar la exactitud del PIC app® como sistema de impresión óptico basado en estereofotogrametría, en pacientes con arcada edéntula completa portadores de múltiples implantes

#### **5.6 Aplicación práctica de los datos:**

- En el grupo de pacientes en fase de confección de la prótesis, los archivos obtenidos con PIC app® se utilizaron para la confección del modelo de trabajo, se les entregó a los alumnos del Máster en Prótesis, Implantoprótesis y Estética Dental de la UEM asignados al caso.
- En el grupo de mantenimiento protésico, las impresiones digitales se tomaron exclusivamente con fines del estudio. Como agradecimiento por su participación, a estos pacientes se les ofreció el servicio de mantenimiento sin coste, tal como se especifica en el Anexo IV.

## 6. Estadística

### 6.1 Cálculo del tamaño muestral

Participaron 10 pacientes a los que se les tomaron 5 impresiones. De este modo, se obtuvieron 5 archivos PIC file® por paciente, obteniéndose un total de al menos 75 mediciones de las distancias euclídeas y 75 angulaciones por participante. En total, se consiguieron al menos 750 mediciones y 750 angulaciones.

<b>Estudio</b>	<b>Tipo de estudio</b>	<b>N.º pacientes/arcadas</b>	<b>N.º de impresiones por arcada</b>	<b>N.º de implantes/mediciones</b>
<b>Este estudio (PIC App)</b>	In vivo clínico Intratécnica	10 pacientes / arcadas	5	750 distancias + 750 angulaciones
<b>Estibalez-Recasens et al., 2025</b>	In vivo clínico intratécnica	10 pacientes (maxila)	5	750 distancias + 300 angulaciones
<b>Orejas-Pérez et al., 2022</b>	In vivo comparativo	1 paciente (2 arcadas)	5 por sistema (3 IOSs)	28 distancias + 7 angulaciones relativas por arcada
<b>Pozzi et al., 2023</b>	In vivo prospectivo comparativo	11 pacientes / arcadas	3 (IOS, SPG, y referencia de cubeta abierta)	100 posiciones implantares (50 implantes)

**Tabla 6.1** Comparación del diseño metodológico y tamaño muestral entre estudios que evalúan precisión y exactitud en impresiones sobre implantes.

De acuerdo con las indicaciones del equipo estadístico y los artículos de referencia, el tamaño muestral para este proyecto fue considerado suficiente para que los resultados fueran estadísticamente significativos. Los estudios de referencia utilizaron muestras iguales o menores y, aun así, obtuvieron resultados estadísticamente significativos. La fortaleza estadística de este estudio no se basó

en la cantidad de participantes, sino en la elevada cantidad de observaciones, en este caso, implantes por arcada.

## **6.2 Análisis Estadístico**

Trueness se definió como la diferencia absoluta entre las mediciones obtenidas con el modelo de referencia (PIC System) y las obtenidas con el PIC App®, tanto en términos de desviaciones lineales (distancia) como angulares. Se calcularon estadísticas descriptivas (incluyendo medias, desviaciones estándar, medianas y rangos intercuartílicos) de forma global y también estratificadas por paciente, arcada dental (superior e inferior) y tramo interimplantario.

Para evaluar el posible efecto de la arcada dental y del tramo interimplantario sobre la trueness, se realizaron análisis multivariantes mediante modelos lineales mixtos. Se ajustaron dos modelos independientes: uno para la desviación lineal y otro para la desviación angular. En ambos modelos, la arcada dental (superior o inferior) y el tramo interimplantario se incluyeron como efectos fijos, mientras que el paciente se modeló como un efecto aleatorio para considerar la variabilidad intraindividual. Tras confirmar la no normalidad de las desviaciones lineales y angulares mediante las pruebas de Shapiro–Wilk, se aplicó una transformación logarítmica; además, se emplearon errores estándar robustos para controlar una posible heterocedasticidad. Después del ajuste de los modelos, se realizaron diagnósticos de residuos con el fin de verificar los supuestos de normalidad y homocedasticidad residual.

La precisión se evaluó en función de la variabilidad (varianza) de las mediciones obtenidas en los cinco registros con PIC App® por arcada. Se utilizaron las pruebas de Levene para analizar la igualdad de varianzas (homocedasticidad) entre los diferentes tramos interimplantarios y entre arcadas dentales.

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando Stata BE 17 (StataCorp, College Station, TX, USA), estableciendo un nivel de significancia del 5%.

## **7. Desarrollo Del Estudio**

Se levantó una lista preliminar con pacientes de las bases de datos del Máster de Prótesis, Implantoprótesis y Estética de la UEM, así como de pacientes que estaban actualmente en tratamiento de rehabilitación con prótesis completa sobre implantes. Se seleccionaron tres fechas en las que se coordinó, junto a Iditec North West SL, la visita a la Clínica Universitaria Odontológica con el sistema PIC App® y PIC system®. Se previó el material necesario (box, destornilladores, etc.).

A los pacientes que ya contaban con una prótesis sobre implantes se les citó para un control, y a aquellos que estaban en tratamiento para rehabilitación se le asignó una cita regular correspondiente al desarrollo habitual de su tratamiento. Todo esto se realizó dentro de las tres fechas previamente coordinadas para el estudio.

El día programado para el estudio, se explicó a los pacientes la naturaleza del mismo, se entregaron las hojas de información correspondientes y, quienes estuvieron de acuerdo, firmaron el consentimiento informado. Posteriormente, se procedió a la toma de impresiones y a la recolección de datos.

### **7.1 Toma De Impresiones**

1. Definición del tipo de paciente: Se determinó si el paciente inicia tratamiento de prótesis o era paciente de mantenimiento.
2. Entrega de la Hoja de Información y Consentimiento Informado al paciente.

#### **7.1.2 Toma de impresiones en paciente que inicia tratamiento de prótesis**

1. Desatornillado de los pilares de cicatrización.
2. Indicación del lote y del código de PIC transfer® que corresponde a cada implante.
3. Colocación de Optragate® (Ivoclar Vivadent) para separar los labios y facilitar la visibilidad a los captadores extraorales.
4. Se dio torque a pilares intermedios según recomendación del fabricante.
5. Atornillado de los PIC transfer según el código asignado sobre los pilares intermedios.

6. Una única Impresión óptica con la PIC camera® del PIC System® (Tiempo estimado ~1min)
7. Se tomaron 5 impresiones con el PIC App (~Tiempo estimado 10 minutos). No se desatornilló entre impresiones, por lo que la velocidad de captación fue alta y el factor de atornillado no introdujo errores.
8. Creación de 6 archivos informáticos PIC file® (uno por impresión).
9. Desatornillado de los PIC transfer®.
10. Atornillado de los pilares de cicatrización.

El archivo PIC file® del PIC system® obtenido fue entregado al alumno del Máster de Prótesis, Implantoprótesis y Estética Dental asignado al paciente, a fin de ser utilizado para obtener el modelo de trabajo físico sobre el cual se fabricó la prótesis. La confección de prótesis sobre múltiples implantes conllevaba una secuencia de fabricación protocolizada, no pudiéndose avanzar en la misma si se detectaba algún tipo de error en cada una de las fases previas.

El alumno solicitó una prueba de ajuste pasivo y, si esta resultaba satisfactoria, continuaba con el proceso normal de confección de la prótesis.

En caso de no darse por válida una estructura, el laboratorio asumía el coste de repetición de esta hasta lograr su ajuste.

En este estudio, la mayor parte de los participantes fueron pacientes que acudieron a la cita de revisión y mantenimiento de sus prótesis ya realizadas.

### **7.1.3 Toma De Impresiones Con PIC dental® En Paciente De Mantenimiento De Su Prótesis**

1. Apertura de chimeneas, desatornillado de la prótesis.
2. Indicación del lote y del código de PIC transfer® que corresponde a cada implante.
3. Colocación de *Optragate*® (Ivoclar Vivadent) para separar los labios y facilitar la visibilidad de los captadores extraorales.
4. Se dio torque a los pilares intermedios según el fabricante.

5. Se atornillaron de los PICt transfer® sobre los pilares intermedios tipo Multiunit©.
6. Una única Impresión óptica con la PIC camera® del PIC System® (Tiempo estimado ~1min)
7. Toma de 5 impresiones con el PIC App (~Tiempo estimado 10 minutos). No se desatornilló entre impresiones, por lo que la velocidad de captación fue alta y el factor de atornillado no introdujo errores.
8. Creación de 6 archivos informáticos PIC file® (uno por impresión).
9. Desatornillado de los PIC transfer®.
10. Atornillado de la prótesis ya higienizada con tornillos nuevos, si correspondía.

El estudio no supuso ningún riesgo para la salud del paciente, ya que para la toma de registros necesarios no se incurrió en ninguna acción invasiva, nociva, perniciosa ni dolorosa. Tanto como la PIC camera del PIC system y el PIC app, solo toman fotografías del paciente.

El procedimiento no requirió seguimiento de ningún tipo.

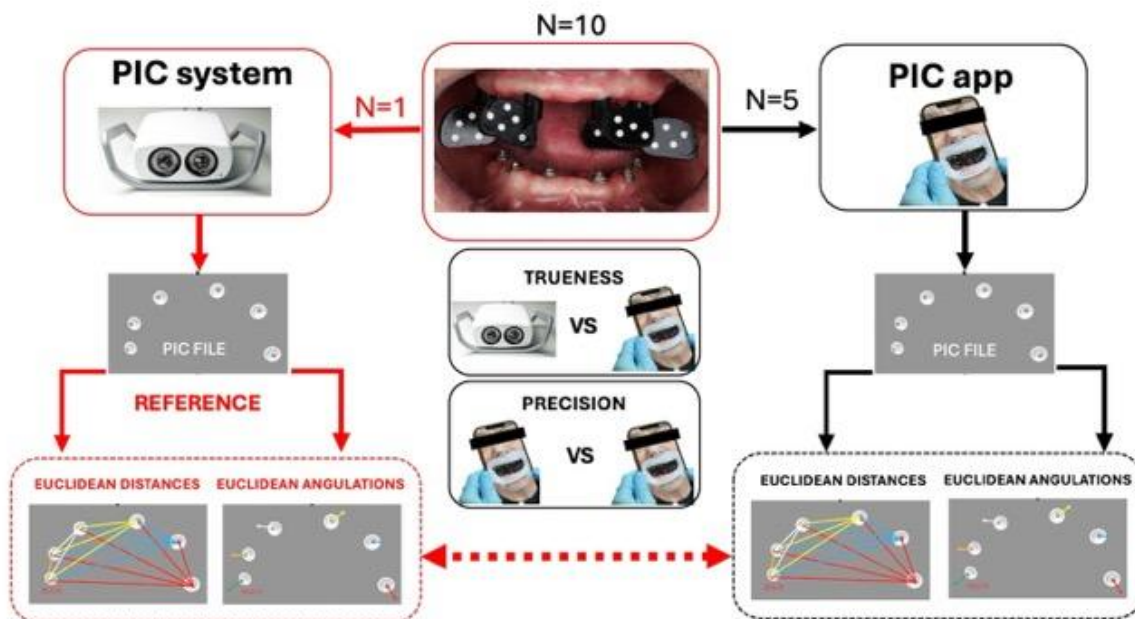


Figura 7.1 Diseño del Estudio

## 7.2 Procesado de la información

Los datos obtenidos de las 60 impresiones realizadas (6 impresiones por cada una de las 10 arcadas edéntulas: 5 con el sistema PIC App® y 1 con el sistema PIC Dental® como referencia), una vez exportados en los PIC files® formato STL con los scan markers de los Multiunit correspondientes, fueron analizados en un ordenador mediante el software Geomagic®. Posteriormente, los resultados fueron tabulados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel® para su tratamiento estadístico

### 7.2.1 Medición de angulaciones y distancias euclídeas.

Las variables para recoger son:

PIC system® (referencia):

- Las mediciones de las distancias euclídeas entre los implantes.
- Las angulaciones relativas entre los implantes.

PIC app®:

- Las mediciones de las distancias euclídeas entre los implantes.
- Las angulaciones relativas entre los implantes.

Ambas se obtienen a partir del PIC file que es el archivo STL generado de cada impresión. Éste lleva la posición tridimensional de los landmarks en la posición exacta de cada implante registrado en la impresión, en este caso se han exportado utilizando la librería de los multiunits simplemente por efectos prácticos para la medición por su geometría estandarizada, pero podría exportarse la librería de los pilares de cicatrización, cabeza del implante o representación mediante vectores.



**Figura 7.2.** PIC File®.

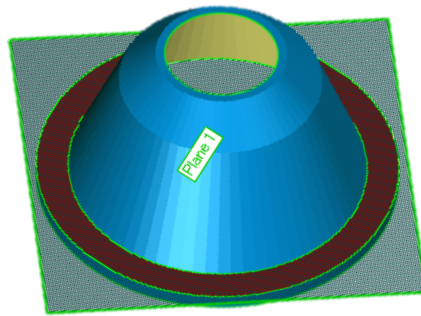
### 7.2.2 Procedimiento de Análisis

Para cada arcada, se creó un archivo de trabajo en el software Geomagic Wrap® (3D Systems Inc., EE. UU.) que contenía 6 modelos STL:

- 1 correspondiente a la impresión con PIC Dental®.
- 5 correspondientes a las impresiones con PIC App®.

Este software nos permite a partir de la geometría virtual del Multiunit (landmark) analizar los modelos, se siguió el siguiente procedimiento para cada implante:

1. **Definición de plano:** se aisló la plataforma del Multiunit y se generó un plano horizontal que será paralelo a este y, por ende, paralelo a la base del implante. Esto nos dará el componente horizontal.



**Figura 7.3** Determinación del plano paralelo a la plataforma del Multiunit.

2. **Determinación vector del implante:** se aisló el cono del pilar y el software determina automáticamente su eje de rotación, generando una línea que pasa por el centro exacto y que representa el vector tridimensional, está definida por tres valores de dirección (j, l, m) que son la proyección de la línea en el espacio.

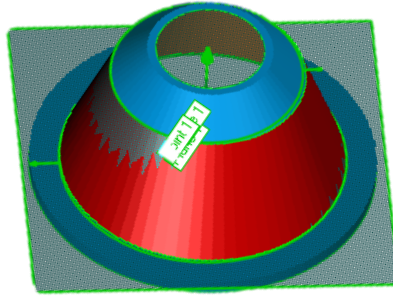


Figura 7.4 Determinación del eje de rotación de Multiunit.

3. **Punto de referencia (centro):** se obtiene como la intersección de la línea del eje vertical con el plano horizontal. Este punto queda definido por sus coordenadas tridimensionales (x, y, z). Y representa la posición del centro del implante en el espacio.

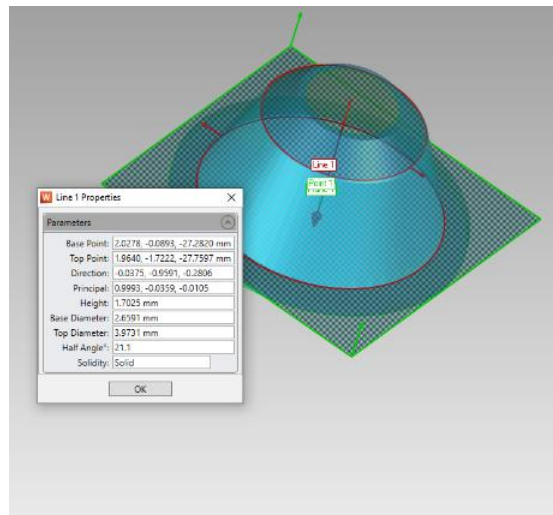


Figura 7.5 Determinación del punto de referencia del implante, definido por la intersección entre el eje de rotación del cono del pilar Multi-Unit (MUA) y el plano horizontal.

Este proceso se repitió de forma idéntica para cada implante y en todas las impresiones.

Se pudo calcular la distancia entre implantes midiendo la separación entre los puntos centrales de cada uno. Esta medición se realizó para cada par de implantes dentro de cada modelo.

Asimismo, al comparar el vector (línea del eje) de un mismo implante entre diferentes impresiones, se obtuvo la diferencia en la angulación registrada entre capturas. En cambio, al comparar el vector de un implante con el de otro dentro de la misma impresión, se determinó la inclinación relativa entre ambos implantes.

### **7.2.3 Determinación de distancias euclídeas.**

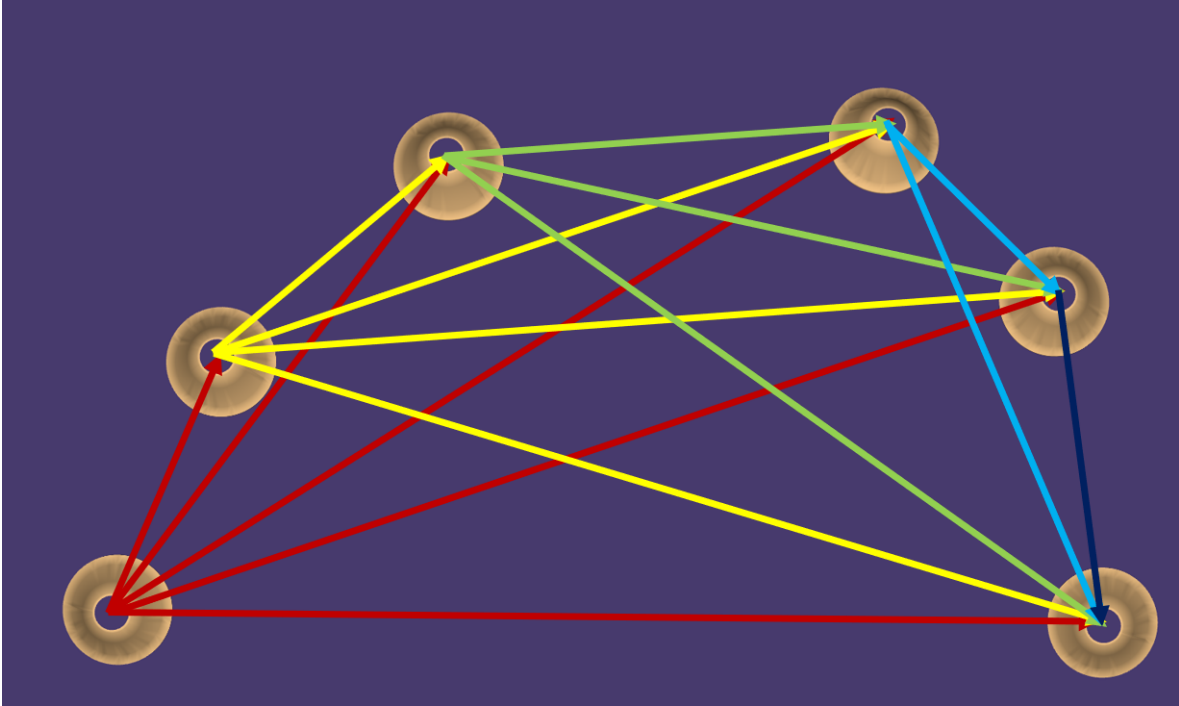
Las distancias euclídeas se refieren a la distancia en línea recta que hay entre un punto y otro en un espacio tridimensional, como es una distancia en tridimensional y no una línea recta en un plano se debe calcular con la siguiente formula:

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

**Ecuación 7.1.** Cálculo de la distancia euclídea tridimensional entre dos implantes

Se basa en las coordenadas espaciales obtenidas tras el escaneo digital. Es el estándar para medir precisión lineal en estudios tridimensionales.

Comparando estas distancias entre las diferentes impresiones del mismo sistema se analiza la precisión intratécnica, y su desviación respecto a la impresión de referencia con PIC system® permite evaluar la exactitud.



**Figura 7.6.** Representación de las 15 distancias euclídeas por cada par de implantes

### 7.2.4 Cálculo de las angulaciones relativas:

Cada eje del implante se define como:  $\vec{v} = (j, l, m)$

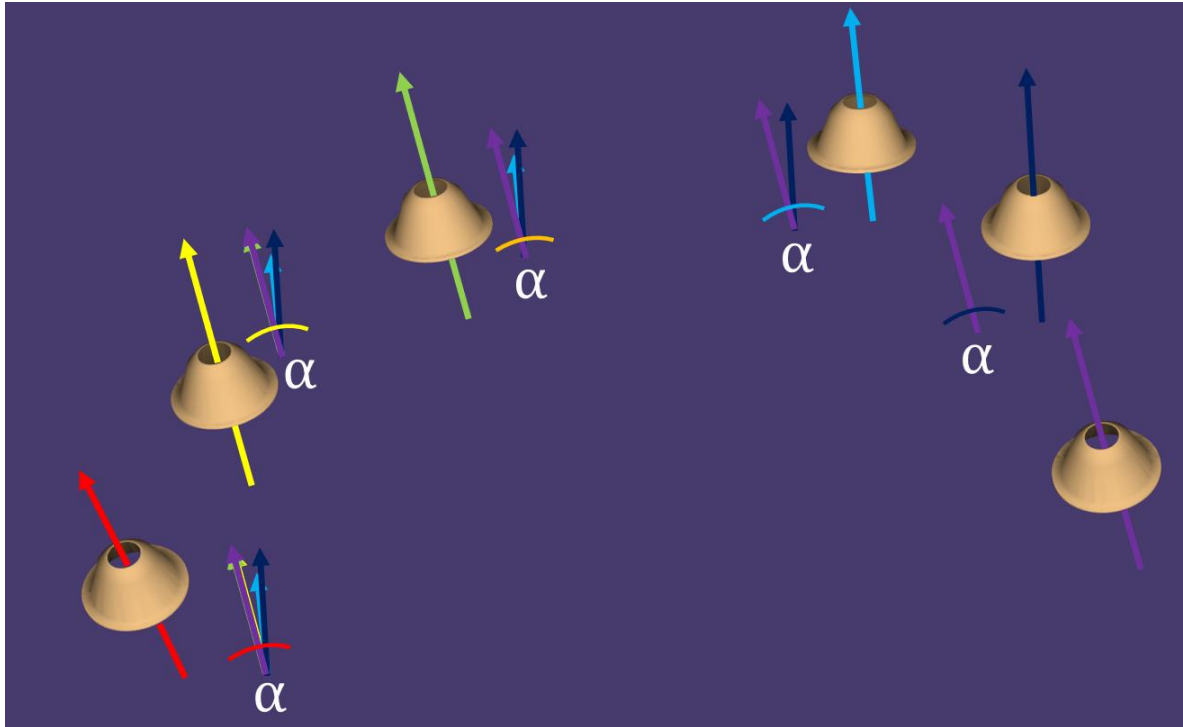
$$\cos(\theta) = \frac{\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2}{\|\vec{v}_1\| \cdot \|\vec{v}_2\|}$$

$$\Rightarrow \theta = \arccos \left( \frac{j_1 j_2 + l_1 l_2 + m_1 m_2}{\sqrt{j_1^2 + l_1^2 + m_1^2} \cdot \sqrt{j_2^2 + l_2^2 + m_2^2}} \right)$$

Ecuación 2. Cálculo de la angulación entre dos ejes de implantes

Esta fórmula permite calcular el ángulo en grados entre dos vectores tridimensionales, que representan los ejes de dos implantes. Es utilizada para

analizar diferencias angulares entre capturas, tanto entre implantes como entre repeticiones de una misma impresión.



**Figura 5.7.** Representación de las 15 angulaciones relativas por cada par de implantes

Este análisis se realizó:

- Dentro de una misma impresión, para calcular las angulaciones relativas entre implantes, es decir, el ángulo entre los ejes de diferentes implantes capturados en una misma toma.
- Entre las repeticiones de un mismo implante, para evaluar la precisión angular intratécnica, determinada por la consistencia del eje registrado del mismo implante en las diferentes impresiones.
- Comparando con la impresión de referencia (PIC system®), para calcular la exactitud angular del sistema PIC app®, mediante la diferencia angular entre el mismo implante en ambas capturas.

## 8. Resultados

### 8.1 Descripción de la muestra

La muestra del estudio estuvo compuesta por 8 pacientes adultos (6 hombres y 2 mujeres) atendidos en la Clínica Universitaria Odontológica de la Universidad Europea de Madrid. De estos, a dos pacientes se les realizaron impresiones tanto en la arcada superior como en la inferior, y a los seis restantes únicamente en la arcada superior, resultando en un total de 10 arcadas edéntulas completas.

Cada arcada presentaba un mínimo de seis implantes osteointegrados con pilares intermedios tipo Multiunit®. En conjunto, se realizaron 60 impresiones digitales, distribuidas como una impresión de referencia con PIC system® y cinco impresiones consecutivas con PIC app® por arcada, lo que permitió el análisis de 750 distancias euclídeas y 750 angulaciones relativas.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
<b>Pacientes</b>	8 adultos (6 hombres, 2 mujeres)
<b>Arcadas analizadas</b>	10 (8 superiores, 2 inferiores)
<b>Distribución</b>	2 pacientes con ambas arcadas; 6 con una (superior)
<b>Implantes por arcada</b>	6 implantes osteointegrados con pilares tipo Multiunit®
<b>Impresiones por arcada</b>	1 con PIC system® y 5 con PIC app®
<b>Total, de impresiones</b>	60
<b>Mediciones lineales</b>	750 distancias euclídeas
<b>Mediciones angulares</b>	750 angulaciones relativas

**Tabla 8.1.** Descripción de la muestra

## 8.2 Análisis de Exactitud

### 8.2.1 Trueness PIC app

Trueness se definió como la diferencia absoluta entre las mediciones obtenidas mediante el sistema PIC App® y el sistema de referencia PIC System®, considerando tanto las distancias lineales como las angulaciones relativas entre implantes. En el conjunto total de mediciones realizadas, la diferencia absoluta media  $\pm$  desviación estándar fue de  $21 \pm 16 \mu\text{m}$  y  $0.20 \pm 0.17$  grados. (tabla 8.2) Estos resultados reflejan una elevada concordancia entre ambos sistemas. (Tabla completa en ANEXO 2.)

	Distance deviation ( $\mu\text{m}$ )	Angle deviation (grados)
<b>Overall</b>		
Mean $\pm$ SD	$20.52 \pm 15.90$	$0.20 \pm 0.17$
Median [p25, p75]	16.93 [7.77, 29.86]	0.15 [0.07, 0.28]

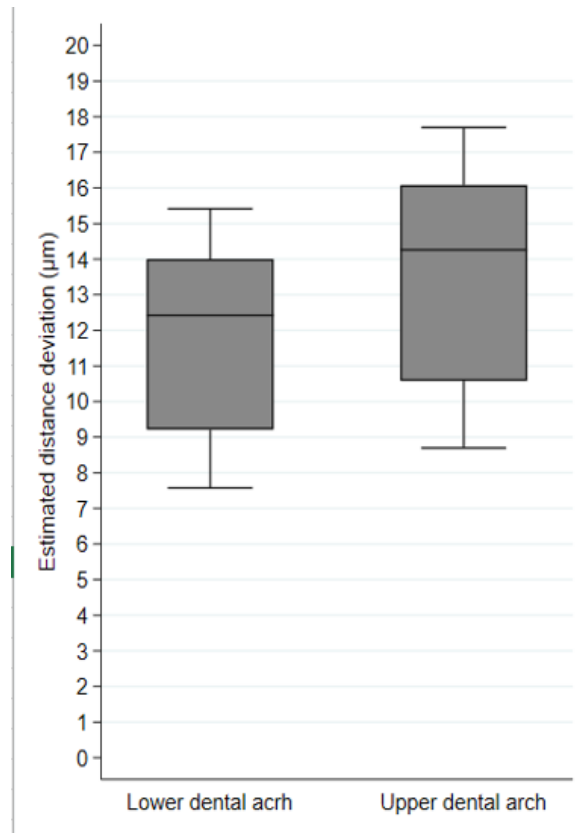
**Tabla 8.2.** Desviación lineal y angular total de las cinco impresiones con PIC App respecto a PIC system®.

### 8.2.3 Exactitud lineal según tipo de arcada y tramo interimplantario

El modelo de efectos mixtos que evalúa la influencia del tramo interimplantario y del tipo de arcada (superior o inferior) sobre trueness lineal, medida como la desviación lineal transformada logarítmicamente y corrigiendo la variabilidad intraindividual, se presenta en la Tabla 8.3. Se encontró un efecto estadísticamente significativo para el tipo de arcada ( $p < 0.001$ ), observándose una desviación lineal mayor en la arcada superior en comparación con la arcada inferior (Tabla 8.3). No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tramos interimplantario, aunque se observó una tendencia hacia una menor desviación en los tramos más largos (por ejemplo, del 1 al 6).

		Estimate	Robust Standard Error	p-value	95% Confidence Interval	
<b>Intercept</b>		2,54	0,26	<0.001	2,02	3,05
<b>Dental arch</b>						
<b>Upper (vs. Lower)</b>		0,14	0,02	<0.001	0,09	0,19
<b>Implant span</b>						
<b>1 to 3 (vs. 1 to 2)</b>		0,10	0,30	0,734	-0,49	0,70
<b>1 to 4 (vs. 1 to 2)</b>		-0,11	0,39	0,774	-0,88	0,66
<b>1 to 5 (vs. 1 to 2)</b>		-0,44	0,36	0,220	-1,13	0,26
<b>1 to 6 (vs. 1 to 2)</b>		-0,51	0,26	0,051	-1,02	0,00
<b>2 to 3 (vs. 1 to 2)</b>		0,14	0,33	0,678	-0,51	0,78
<b>2 to 4 (vs. 1 to 2)</b>		0,20	0,32	0,526	-0,42	0,82
<b>2 to 5 (vs. 1 to 2)</b>		0,10	0,33	0,749	-0,53	0,74
<b>2 to 6 (vs. 1 to 2)</b>		-0,48	0,29	0,101	-1,05	0,09
<b>3 to 4 (vs. 1 to 2)</b>		-0,31	0,36	0,384	-1,02	0,39
<b>3 to 5 (vs. 1 to 2)</b>		0,10	0,38	0,790	-0,64	0,85
<b>3 to 6 (vs. 1 to 2)</b>		-0,03	0,30	0,923	-0,61	0,55
<b>4 to 5 (vs. 1 to 2)</b>		-0,09	0,36	0,795	-0,80	0,61
<b>4 to 6 (vs. 1 to 2)</b>		-0,02	0,36	0,964	-0,71	0,68
<b>5 to 6 (vs. 1 to 2)</b>		0,20	0,24	0,402	-0,27	0,67

**Tabla 8.3:** Estimaciones de los efectos fijos del modelo mixto que evalúa la influencia de la arcada dental y el tramo interimplantario sobre la *trueness* lineal (desviación de distancia transformada logarítmicamente)



**Figura 8.1.** Diagrama de caja (box plot) de la trueness lineal (en  $\mu\text{m}$ ) del sistema PIC App®, comparando arcadas superior e inferior. Los valores representan diferencias absolutas respecto al sistema de referencia PIC System®. La media fue menor en la arcada inferior, con diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.001$ ).

#### 8.2.4 Exactitud angular según tipo de arcada y tramo interimplantario

En contraste, el modelo de efectos mixtos que evalúa la influencia del tramo interimplantario y del tipo de arcada sobre la trueness angular (medida como la desviación angular transformada logarítmicamente) no reveló efectos estadísticamente significativos para ninguno de los factores (Tabla 8.4). Aunque la arcada superior mostró una desviación angular ligeramente mayor en comparación con la arcada inferior, esta diferencia no fue significativa ( $p = 0.310$ ). Del mismo modo, ninguno de los tramos interimplantarios difirió significativamente del tramo de referencia (1 a 2). (Tabla 8.4)

		Estimate	Robust Standard Error	p-value	95% Confidence Interval	
Intercept		-2,33	0,26	<0.001	-2,85	-1,82
<b>Dental arch</b>						
Upper (vs. Lower)		0,10	0,10	0,310	-0,09	0,30
<b>Implant span</b>						
1 to 3 (vs. 1 to 2)		0,35	0,22	0,105	-0,07	0,78
1 to 4 (vs. 1 to 2)		0,11	0,30	0,709	-0,47	0,70
1 to 5 (vs. 1 to 2)		0,10	0,32	0,748	-0,52	0,72
1 to 6 (vs. 1 to 2)		0,19	0,32	0,559	-0,45	0,83
2 to 3 (vs. 1 to 2)		0,50	0,28	0,072	-0,04	1,04
2 to 4 (vs. 1 to 2)		0,05	0,33	0,878	-0,59	0,69
2 to 5 (vs. 1 to 2)		0,21	0,37	0,562	-0,51	0,94
2 to 6 (vs. 1 to 2)		0,18	0,39	0,653	-0,59	0,95
3 to 4 (vs. 1 to 2)		-0,19	0,26	0,448	-0,69	0,31
3 to 5 (vs. 1 to 2)		0,07	0,17	0,671	-0,26	0,40
3 to 6 (vs. 1 to 2)		0,21	0,27	0,438	-0,33	0,75
4 to 5 (vs. 1 to 2)		-0,12	0,33	0,715	-0,76	0,52
4 to 6 (vs. 1 to 2)		0,30	0,32	0,348	-0,32	0,92
5 to 6 (vs. 1 to 2)		0,22	0,25	0,372	-0,27	0,72

**Tabla 8.4** Estimaciones de los efectos fijos del modelo mixto que evalúa la influencia de la arcada dental y el tramo interimplantario sobre la *trueness* angular (desviación angular transformada logarítmicamente)

### 8.2.5 Precisión PIC app

En cuanto a la precisión de las mediciones, los resultados de la prueba de Levene no mostraron diferencias estadísticamente significativas en la varianza de las desviaciones lineales obtenidas a partir de las cinco capturas repetidas de cada arcada, ni entre los distintos tramos interimplantarios ( $W_0 = 1.317$ ; gl = 14, 135;  $p = 0.205$ ) ni entre las arcadas superior e inferior ( $W_0 = 0.019$ ; gl = 1, 148;  $p = 0.889$ ). Esto indica que ninguno de estos factores tuvo un efecto medible sobre la precisión lineal de las mediciones realizadas con el PIC app®.

En contraste, al evaluar la desviación angular, no se observaron diferencias significativas en la varianza entre los tramos interimplantarios ( $W_0 = 1.058$ ;  $gl = 14, 135$ ;  $p = 0.402$ ); sin embargo, sí se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre arcadas ( $W_0 = 22.226$ ;  $gl = 1, 148$ ;  $p < 0.001$ ), con una varianza menor (mayor precisión angular) entre las cinco repeticiones en la arcada superior en comparación con la arcada inferior.

Variable	Factor evaluado	$W_0$	gl	p-valor	Interpretación
Desviación lineal	Tramo interimplantario	1.317	14, 135	0.205	No hay diferencias en varianza → la precisión es similar entre tramos.
Desviación lineal	Arcada (sup. vs inf.)	0.019	1, 148	0.889	No hay diferencias → ambas arcadas muestran precisión similar.
Desviación angular	Tramo interimplantario	1.058	14, 135	0.402	No hay diferencias en varianza angular entre tramos.
Desviación angular	Arcada (sup. vs inf.)	22.226	1, 148	< 0.001	Diferencia significativa: mayor precisión angular en arcada superior.

**Tabla 8.5** Resultados de las pruebas de Levene para evaluar la precisión del PIC App®

## 9. Discusión

### 9.1 Justificación Metodológica

#### 9.1.1 Relevancia del método de medición en estudios de impresión tridimensional

En los estudios que evalúan la precisión de las técnicas de impresión digital, la elección del método de medición es un factor crítico que impacta directamente en la validez del estudio y aplicabilidad clínica de los resultados<sup>29</sup>. La impresión sobre implantes, particularmente en arcadas completas, requiere una exactitud posicional alta, por lo que es esencial utilizar parámetros métricos que reflejen fielmente la posición tridimensional de los implantes.

Diferentes métricas se han utilizado recientemente en diversos artículos para intentar medir de la manera más objetiva y clínicamente relevante la posición tridimensional de los implantes como son: distancias euclídeas con sus angulaciones relativas, RMS (Root Mean Square) y Mapas de calor.

El uso de distancias euclídeas y angulaciones relativas entre implantes permiten un análisis directo, cuantificable y clínicamente relevante del comportamiento del sistema de impresión<sup>29,37</sup>. Por ejemplo, Pozzi *et al.* (2024) en un estudio in vitro prefirieron calcular las desviaciones tridimensionales utilizando las distancias euclídeas ( $\Delta EUC$ ) en lugar de emplear RMS<sup>37</sup>, argumentando que la métrica euclídea “es más fácil de traducir clínicamente” y se correlaciona mejor con desviaciones lineales reales<sup>37</sup>. Estas métricas se centran en los elementos más críticos del ajuste pasivo: la posición lineal y la orientación angular de los implantes.

También Goldstein en su revisión señala las deficiencias del método RMS, y apunta a que el método más acertado para medir desviaciones en prostodoncia es seleccionando puntos específicos en mapas de calor.<sup>38</sup> Por lo que la métrica utilizada para el análisis de estudio puede ser un tema para discutir.

### 9.1.2 Distancias euclídeas vs. RMS

El RMS (Root Mean Square deviation) es una técnica comúnmente utilizada para el análisis de desviaciones de superficies completas. El RMS representa la desviación cuadrática media de una nube de puntos respecto a otra, ofreciendo un valor promedio que resume la magnitud de las diferencias en toda la superficie comparada.<sup>38</sup> Este método resulta útil donde interesa una visión general del error superficial, por ejemplo: en análisis de modelos, tejidos blandos, escaneos de prótesis removibles o estructuras anatómicas complejas, ya que proporciona una medida global de la discrepancia superficial promedio entre dos mallas tridimensionales superpuestas.<sup>38</sup> Por ejemplo Figueras-Álvarez et al.<sup>39</sup> compararon cambios volumétricos en aumentos de tejido blando utilizando dos softwares distintos, compararon el valor RMS de la diferencia entre mallas obtenidas de escaneos intraorales en diferentes fechas. Sin embargo, su aplicabilidad en geometrías definidas y de alta precisión, como los implantes dentales o aditamentos de implantes puede ser discutida. El RMS depende de que las mallas estén orientadas en la misma posición o mismo universo algebraico por lo que dependen de un “best fit” entre mallas.

Diversos autores enfatizan que el método de medición influye en los resultados. Goldstein señala que, si bien el RMS es una métrica muy empleada para cuantificar discrepancias en estudios dentales, sus valores promedian las desviaciones en todas direcciones, de modo que no incluyen información direccional ni localizada del error.<sup>38</sup> Esto implica que diferentes métodos de medición pueden arrojar conclusiones distintas sobre la precisión.<sup>38</sup>

Un ejemplo concreto lo ofrece Li *et al.* (2024), quienes compararon dos enfoques de alineamiento al evaluar impresiones de arcada completa sobre implantes. Con un alineamiento completo (todos los scan bodies), obtuvieron resultados de ~40–45  $\mu\text{m}$  de *trueness* promedio, similar a la técnica convencional.<sup>40</sup> Sin embargo, al repetir el análisis simulando un test de Sheffield digital, alinearon solo los dos implantes anteriores y dejaron “libres” los posteriores, descubrieron discrepancias lineales mucho mayores en el implante más distal de hasta 304.6  $\mu\text{m}$ <sup>40</sup> Este hallazgo

evidencia cómo la referencia de alineamiento incide en las métricas de error. Estudios de precisión implantológica actuales respaldan el uso de distancias euclídeas y angulaciones entre implantes para una evaluación más fiel de la exactitud, especialmente en configuraciones rígidas donde un ajuste pasivo es crítico.<sup>37</sup>

Por otro lado, el análisis de distancias euclídeas y las angulaciones relativas son independientes al universo algebraico en el que están orientadas las mallas y por lo tanto no dependen de un “best fit”, por lo que ofrecen una medida directa y reproducible de la discrepancia posicional. Esta métrica se centra en el cálculo tridimensional de la distancia lineal entre puntos definidos con precisión geométrica (en este caso un punto x,y,z definidos por un plano y el eje longitudinal del Multiunit). Mientras que angulaciones relativas están definidos por los vectores antes calculados y relacionados entre sí y definidos por los puntos j,m,l. Tanto las distancias euclídeas como las angulaciones relativas, al no depender del best fit completo de superficies, es menos susceptible al ruido o a artefactos superficiales del escaneo.

Por otro lado, el análisis de distancias euclídeas y angulaciones relativas son independientes del universo algebraico en el que se orientan las mallas, por lo que no requiere la aplicación de un best fit. Esto permite obtener una medida directa, reproducible y precisa de las posiciones tridimensionales de los implantes. La métrica se basa en el cálculo de la distancia lineal entre puntos definidos con precisión geométrica (en este caso, coordenadas x, y, z determinadas por un plano y el eje longitudinal del pilar Multiunit®). Las angulaciones relativas, por su parte, se determinan a partir de vectores previamente calculados, definidos por los puntos j, m y l, y relacionados entre sí en el espacio tridimensional. Tanto las distancias euclídeas como las angulaciones relativas, al no depender del alineamiento completo de superficies, resultan menos susceptibles al ruido o a los artefactos superficiales del escaneo.

En este contexto, cabe señalar que otros métodos utilizados como puntos específicos en mapas de calor tridimensionales, también requieren la aplicación de

un *best fit* previo para su generación. Tal como destaca Goldstein (2024), aunque estos mapas pueden ofrecer una representación cualitativa de la distribución del error, su dependencia del ajuste entre mallas limita su utilidad en el análisis objetivo de estructuras rígidas. De hecho, el autor advierte que tanto el RMS como los mapas de color identifican la presencia de una desviación, pero no cuantifican con exactitud su magnitud ni su dirección, lo que puede enmascarar errores clínicamente relevantes.

En resumen, las métricas euclídeas ofrecen medidas absolutas de desviación independientes del alineamiento de mallas, evitando la posible atenuación o promedio de errores que ocurre con el RMS o los mapas de calor.

### **9.1.3 Análisis PIC system y PIC app**

Una de las principales ventajas metodológicas de comparar el PIC system® y el PIC app® es que ambos generan archivos STL directamente desde su sistema de fotogrametría, sin necesidad de realizar un proceso de “best fit” entre los scan bodies y la librería. Esto se debe a que ambos utilizan los mismos marcadores ópticos codificados que permiten al sistema registrar la posición y orientación tridimensional de los implantes de manera directa, lo que elimina la influencia del operador y reduce significativamente los errores asociados al alineamiento con librerías externas. En contraste, cuando se comparan sistemas que utilizan distintos tipos de scan bodies con escáneres intraorales, es necesario realizar primero un ajuste individualizado (“best fit”) para fabricar el modelo maestro y poder utilizar la misma librería CAD, lo que introduce una fuente adicional de error en las métricas de trueness y precisión.<sup>3041</sup>

Tomando en cuenta la evidencia revisada, la medición empleada en este estudio se ha basado en el cálculo de distancias euclídeas entre puntos y de ángulos relativos entre vectores, utilizando como referencia puntos geométricos definidos, como los centros y los ejes longitudinales de los pilares Multiunit® registrados mediante un software metrológico especializado y ampliamente validado, como es Geomagic Wrap®. Esta metodología permite calcular con precisión tanto las distancias como las angulaciones entre implantes, lo cual se alinea con los parámetros descritos en

estudios recientes sobre sistemas de impresión digital implantosoportada, como los de Pozzi, Revilla-León et al.<sup>42</sup>, Estibalez-Recasens et al.<sup>29</sup>, Orejas-Pérez et al. y Santamaría et al.<sup>30</sup>. Esta elección metodológica responde a las limitaciones comentadas del análisis mediante RMS, especialmente en estructuras rígidas, donde el ajuste pasivo depende de forma crítica de las desviaciones lineales y angulares puntuales.

#### **9.1.4 PIC system como referencia**

La precisión de la estereofotogrametría en odontología para la toma de impresiones de arcada completa, en particular el sistema PIC ha sido validado ampliamente de manera in vitro. Por ejemplo, Revilla-León et al. (2025) reportaron una precisión lineal de  $6 \pm 3 \mu\text{m}$  y angular de  $0.01^\circ$ , mientras que Revilla-León también en el 2024 reportaron una desviación lineal de  $20 \mu\text{m}$  y angular de  $0.354^\circ$ , y Tohme (2023) presentó resultados de exactitud con  $78 \pm 1 \mu\text{m}$ <sup>36</sup>. Además, el reciente metaanálisis y revisión sistemática de Jain et al. (2025) concluyó que el sistema PIC es una alternativa confiable para la impresión sobre implantes, reportando precisión tridimensional en un rango de 19.39 a  $67.72 \mu\text{m}$ , y desviación angular promedio de  $0.38^\circ$ , basándose en cinco estudios. En cuanto a la exactitud, el mismo análisis incluyó dos estudios con valores de  $78 \pm 1 \mu\text{m}$  y  $88 \pm 6 \mu\text{m}$ .<sup>31</sup>

Si bien es cierto que no se pueden relacionar los datos de los estudios in vitro con los in vivo, son una referencia muy importante en la pirámide de evidencia y abre el paso a continuar con los estudios in vivo. Además, los estudios in vitro tienen la ventaja que se puede medir la exactitud, ya que es posible utilizar otro método de medición como referencia o gold standart, como lo pueden ser una máquina de medición por coordenadas CMM o un escáner extraoral. Este tipo de validación no puede llevar a cabo in vivo ya que normalmente no existe una referencia clínica que boca que permita medir la exactitud.

Por la naturaleza de estudios con humanos es normal que existan menos estudios in vivo respecto a las in vitro. Jain en su metaanálisis se basa en tres estudios in vivo con el sistema PIC que ya han sido referenciados en el actual estudio, y que reportan una precisión en un rango de  $87.6 \pm 74.2 \mu\text{m}$  para desviación tridimensional

y desviación angular de entre  $0,01^{\circ}$  a  $0,947^{\circ}$ . Es de esperarse que la desviación en estudios *In vitro* aumente ya que entra en consideración factores como anatomía del paciente, fluidos, apertura, luz intraoral entre otros.

El autor en su metaanálisis aclara que solo se incluyeron artículos donde se utilizó el PIC system y se excluyeron otras tecnologías de estereofotogrametría, ya que artículos que usaran otras tecnologías eran insuficientes y utilizaban diseños no comparables. De hecho, PIC system® fue el único sistema de estereofotogrametría que cumplió con los criterios de inclusión por su evidencia sólida y homogeneidad metodológica entre los estudios disponibles. Y recalcan que sería bueno para futuros artículos utilizar y desarrollar otras tecnologías además de PIC para ser incluidos en una revisión.

A la fecha de la confección de este trabajo los autores no han encontrado información acerca de otro estudio *in vivo* que evalúe precisión o exactitud utilizando la tecnología de estereofotogrametría PIC app. Solo existe publicado un estudio *in vitro* (Santamaría-Laorden et al., 2025) que comparó directamente la precisión del PIC app® con la del PIC system®. En este estudio, el PIC app® presentó una trueness media de  $30.92 \pm 20.88 \mu\text{m}$  y  $0.16 \pm 0.09^{\circ}$  en desviación angular, frente a los  $18.21 \pm 12.21 \mu\text{m}$  y  $0.10 \pm 0.07^{\circ}$  del PIC system®. Aunque las diferencias fueron estadísticamente significativas por el tamaño de la muestra, los autores consideran que no son clínicamente relevantes por el valor tan pequeño. Además, ambos sistemas mostraron una precisión angular similar, siendo el PIC system® más preciso en mediciones lineales.

Este sistema se basa en el mismo principio de funcionamiento que el PIC system®, pero se diferencia en el dispositivo de captura. Por esta razón, resulta razonable tomar como referencia la evidencia científica existente sobre el PIC system® además del artículo *in vitro* ya publicado. Para el diseño del presente estudio, se ha revisado la literatura y se ha considerado la experiencia de autores como Orejas-Pérez, Estibalez-Recasens y Pozzi, quienes han evaluado el sistema PIC system® en condiciones clínicas reales.

Para efectos de este estudio no es una limitación que el PIC system sea la tecnología de estereofotogrametría más estudiada, sino más bien una ventaja ya que refuerza la base en la que está diseñado el estudio al utilizar el PIC system® como gold standart, ofreciendo una base sólida y validada. Los estudios In vivo previos se han centrado en revisar la precisión al no contar con una referencia contra que comparar. Sin embargo, el actual estudio pretende evaluar no solo la precisión del PIC app, sino además valorar su exactitud usando de referencia el PIC system®, cuya fiabilidad ha sido validado a través de diferentes investigaciones. Según el metaanálisis de Jain último es la tecnología digital más precisa para la impresión de implantes en rehabilitaciones de arcada completa.

Si al finalizar el estudio no se rechaza la hipótesis de que el PIC App® es tan preciso y exacto como el PIC System, se estaría validando el uso clínico del nuevo sistema como una alternativa fiable y aceptable para la toma de impresiones digitales en arcadas completas sobre implantes.

## **9.2 Discusión de Resultados**

### **9.2.1 Exactitud del PIC app®**

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que el sistema de estereofotogrametría basado en smartphone PIC app® presenta una alta veracidad (trueness) con referencia al PIC system®, con valores de media de desviación lineal y angular de  $21 \pm 16 \mu\text{m}$  y  $0.20 \pm 0.17$  grados, respectivamente. Estas diferencias reflejan una concordancia prácticamente equivalente entre ambos sistemas y se sitúan dentro de los márgenes considerados clínicamente aceptables para rehabilitaciones implantosoportadas de arcada completa. El análisis estadístico mediante modelos lineales mixtos mostró que no existieron diferencias significativas, por lo que no se rechaza  $H_1$ , confirmando que el PIC app® reproduce la posición espacial de los implantes con una exactitud comparable al PIC system®. En relación con la arcada, se observó una diferencia estadísticamente significativa en la desviación lineal ( $p < 0.001$ ), con valores ligeramente mayores en el maxilar superior; sin embargo, la magnitud de dicha diferencia fue mínima ( alrededor de 3

µm, como se ilustra en la figura 8.1) y no clínicamente relevante, mientras que no se hallaron diferencias angulares ( $p = 0.310$ ), aceptándose parcialmente la H2. En cuanto a la longitud del tramo interimplante, no se observaron diferencias significativas ni en la exactitud lineal ni angular, aunque se detectó una tendencia no significativa ( $p = 0.051$ ) hacia una menor desviación en los tramos más largos, por lo que no se rechaza la H3. Este comportamiento que sugiere que los sistemas son casi equivalentes resulta coherente con el hecho de que ambos sistemas comparten el mismo principio de medición basado en estereofotogrametría, diferenciándose únicamente en el dispositivo captador de imágenes, pero manteniendo un proceso de reconstrucción y generación del archivo PIC file muy similar. Aunque actualmente no se han publicado otros estudios *in vivo* que comparen directamente el PIC app® con el PIC system®, los resultados obtenidos concuerdan con los datos reportados en estudios *in vitro*<sup>30</sup>, respaldando la conclusión de que el PIC app® constituye una alternativa clínica válida y fiable para la captura de impresiones sobre múltiples implantes bajo condiciones reales, ofreciendo una precisión metrológica comparable al sistema de referencia, con la ventaja adicional de una mayor portabilidad, facilidad operativa y accesibilidad clínica.

La diferencia estadísticamente significativa en trueness lineal entre arcadas ( $p < 0.001$ ), con valores ligeramente mayores en el maxilar superior, aunque clínicamente probablemente sea irrelevante su interpretación merece consideración. El hecho de que la variabilidad haya sido mayor en el maxilar podría estar relacionado con factores ópticos y operativos más que anatómicos. En el maxilar superior, la visibilidad directa de los transfers y la proximidad del captador pueden generar diferencias angulares en la adquisición de las imágenes, especialmente en condiciones de iluminación natural no controlada. Este patrón es coherente con hallazgos de Benabdallah en su estudio *in vitro* que muestran que la angulación de las fotografías afecta la precisión en fotogrametría<sup>43</sup>; aunque dichos datos se obtuvieron con PIC System®, el principio de funcionamiento es comparable al de PIC app®, por lo que la hipótesis es posible y merece la confirmación en un estudio. Por el contrario, la arcada inferior a pesar de la posible interferencia de la

lengua o la saliva mostró menor dispersión, posiblemente porque el plano mandibular recibe una iluminación más directa durante el registro, ya que la fuente lumínica principal se encuentra generalmente por encima del campo operatorio. Este aspecto podría sugerir que la calidad y dirección de la luz influyen en la estabilidad del proceso de triangulación fotogramétrica. Estos hallazgos son contrarios a los hechos por Yan et al, que no encontró diferencias entre las arcadas al utilizar un sistema de fotogrametría extraoral <sup>44</sup> Sería interesante evaluar en futuros estudios si la incorporación de una fuente de iluminación auxiliar en el dispositivo (como un flash o luz continua integrada al smartphone) puede homogeneizar la captura entre arcadas y reducir esta ligera diferencia observada.

Por otro lado, la ausencia de diferencias significativas en la exactitud lineal y angular respecto a la longitud del tramo interimplante ( $p > 0.05$ ) es un hallazgo clínicamente relevante. Este resultado indica que la precisión del sistema no se ve afectada por la distribución espacial de los implantes, lo cual tiene implicaciones prácticas al permitir su utilización en diferentes configuraciones protésicas sin pérdida de fiabilidad. No obstante, se observó una tendencia no significativa ( $p = 0.051$ ) hacia una menor desviación en los tramos más largos, (al contrario de los escáneres intra orales donde se ha demostrado que su exactitud disminuye cuando aumenta la distancia inter implantaria<sup>45</sup>) posiblemente atribuible a un efecto geométrico de triangulación más estable: al aumentar la distancia entre los marcadores ópticos, el sistema obtiene un ángulo de intersección más amplio, reduciendo la incertidumbre en la reconstrucción tridimensional.<sup>43</sup> Esto coincide con los hallazgos de Yan et al, que también reportó que la exactitud de la fotogrametría extra oral es independiente al número y distribución de los implantes<sup>44</sup>. Esta tendencia refuerza la robustez del sistema frente a variaciones en la posición de los implantes y confirma su idoneidad para registros de arcadas completas bajo condiciones clínicas reales.

### 9.2.2 Precisión intratécnica del PIC App®

Los resultados del test de Levene no mostraron diferencias estadísticamente significativas en la varianza de las desviaciones lineales ni entre los distintos tramos implantarías ( $p = 0.205$ ) ni entre arcadas ( $p = 0.889$ ), lo que indica que la repetibilidad lineal del sistema no varía en función del tramo interimplante ni de la arcada evaluada. En contraste, al analizar las desviaciones angulares, tampoco se observaron diferencias entre tramos ( $p = 0.402$ ), aunque sí se encontró una diferencia significativa entre arcadas ( $p < 0.001$ ), con una menor varianza en la arcada superior, lo que sugiere una ligeramente mayor precisión angular en dicha localización. (Tabla 8.5)

Pese a esta diferencia estadísticamente significativa, la magnitud de las desviaciones angulares fue tan reducida ( $<0.3^\circ$ ) que probablemente carece de relevancia clínica, ya que posiblemente no comprometería el ajuste final de la estructura protésica. No obstante, son necesarios estudios que nos permitan extrapolar las desviaciones obtenidas directamente al ámbito clínico.

Desde un punto de vista clínico, aunque no existe un valor universalmente establecido como umbral de aceptabilidad, las desviaciones observadas son inferiores a las reportadas en la literatura para otras técnicas de impresión, como los métodos convencionales<sup>13</sup> o los escáneres intraorales en rehabilitaciones de arcada completa.<sup>18</sup> Y se encuentran muy por debajo de los límites de ajustes pasivos definidos en la literatura por debajo de los  $150\mu\text{m}$ . Además, estos valores de precisión concuerdan con los resultados obtenidos previamente en el estudio in vitro del PIC App®<sup>30</sup>, lo que sugiere que el rendimiento del sistema se mantiene estable tanto en condiciones controladas como en el entorno clínico.

A la fecha de elaboración de este trabajo, no se han publicado otros estudios in vivo que evalúen la precisión del PIC app®, por lo que los presentes resultados constituyen una de las primeras evidencias clínicas disponibles. Sin embargo, al comparar con el estudio in vivo del PIC System®, los valores de precisión obtenidos son concordantes.<sup>30</sup>

### **9.2.3 Limitaciones:**

Los resultados deben interpretarse bajo ciertas limitaciones metodológicas. En primer lugar, el tamaño muestral fue reducido (10 arcadas), aunque comparable con estudios previos de precisión in vivo. Esta limitación podría restringir la generalización de los hallazgos, sin embargo, el elevado número de repeticiones por paciente contribuyó a aumentar la potencia estadística en la estimación de la exactitud.

En segundo lugar, todas las capturas fueron realizadas por un único operador. Este enfoque permitió minimizar la variabilidad técnica y asegurar la estandarización del protocolo, pero impide evaluar el efecto del operador sobre la reproducibilidad del sistema.

Asimismo, las condiciones de iluminación no fueron estandarizadas, lo que podría haber influido en la calidad del registro fotogramétrico, en particular en el maxilar superior. Mientras que la cámara del PIC system® opera con luz infrarroja y es prácticamente insensible a variaciones ambientales, la cámara del smartphone sí puede verse afectada por reflejos, sombras y brillo sobre los PIC transfers, lo que potencialmente introduce variabilidad no controlada.

Otra limitación es que, aunque el estudio evalúa la exactitud del PIC App® respecto al modelo de referencia, no se puede valorar la repercusión directa de las discrepancias sobre el ajuste protésico final. Por ello, la traducción de las desviaciones virtuales a consecuencias clínicas debe interpretarse con cautela.

Finalmente, solo se utilizó un modelo de smartphone, por lo que no se puede determinar el impacto de las diferencias entre cámaras, sensores de otros dispositivos.

### **9.2.4 Recomendaciones para Futuras investigaciones.**

De cara al futuro, sería conveniente ampliar el tamaño muestral e incluir operadores con distintos niveles de experiencia clínica, con el fin de evaluar el efecto del factor

operador y mejorar la generalización de los resultados. Asimismo, deberían investigarse variables propias del entorno clínico que podrían influir en la exactitud del registro fotogramétrico, tales como las condiciones de iluminación, y las variaciones en la angulación de captura.

Otra línea de investigación interesante consiste en analizar el rendimiento del sistema utilizando diferentes modelos de smartphones, dado que las variaciones en cámaras, sensores y algoritmos de procesamiento de imagen podrían modificar la calidad del registro y, por tanto, la precisión del método. De igual manera, sería útil comparar el desempeño del PIC App® con otros sistemas de estereofotogrametría disponibles en el mercado, tanto de uso clínico como in vitro, para establecer su posición relativa y determinar en qué contextos puede ofrecer ventajas o limitaciones específicas.

Finalmente, para traducir de manera más directa las desviaciones lineales y angulares al contexto clínico, sería necesario desarrollar metodologías que correlacionen las discrepancias virtuales con consecuencias físicas medibles, como el ajuste pasivo o los desajustes protésicos. Este enfoque permitiría estimar umbrales clínicamente aceptables y construir modelos predictivos que faciliten la toma de decisiones en rehabilitaciones implantosoportadas.

## 10. Conclusiones

1. El sistema PIC app® demostró una exactitud suficiente para la toma de registros en prótesis implantosoportadas de arcada completa con seis pilares sobre implantes.
2. La distancia entre implantes no afectó la exactitud del PIC app®, aunque se observó una tendencia hacia una menor desviación en los tramos más largos.
3. El tipo de arcada sí influyó en la exactitud, registrándose una mayor veracidad y precisión en la mandíbula.
4. Mediante el uso de smartphones, el PIC app® permite una implementación más accesible y económica del sistema PIC, sin comprometer la precisión de las mediciones.

## 11 Referencias

1. Kotkin H. Diagnostic significance of denture complaints. *J Prosthet Dent* [Internet]. 1985;53(1):73–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3882952>
2. Kutkut A, Bertoli E, Frazer R, Pinto-Sinai G, Fuentealba Hidalgo R, Studts J. A systematic review of studies comparing conventional complete denture and implant retained overdenture. Vol. 62, *Journal of Prosthodontic Research*. Elsevier Ltd; 2018. p. 1–9.
3. Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T. *Tissue-integrated prostheses: osseointegration in clinical dentistry*. Chicago: Quintessence; 1985.
4. Jemt T, Book K. Prosthesis misfit and marginal bone loss in edentulous implant patients. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1996 Sep;11(5):620–5.
5. Jemt T, Lie A. Accuracy of implant-supported prostheses in the edentulous jaw. Analysis of precision of fit between cast gold-alloy frameworks and master casts by means of a three-dimensional photogrammetric technique. *Clin Oral Implants Res*. 1995;6(3):172–80.
6. Manzella C, Bignardi C, Burello V, Carossa S, Schierano G. Method to improve passive fit of frameworks on implant-supported prostheses: An in vitro study.
7. Katsoulis J, Takeichi T. Misfit of implant prostheses and its impact on clinical outcomes. Definition, assessment and a systematic review of the literature [Internet]. Vol. 177, Article in *European Journal of Oral Implantology*. 2017. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/320056319>
8. Pozzi A, Arcuri L, Carosi P, Laureti A, Londono J, Wang HL. Photogrammetry Versus Intraoral Scanning in Complete-Arch Digital Implant Impression: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2025 Jun 1;27(3).
9. Sallorenzo A, Gómez-Polo M. Comparative study of the accuracy of an implant intraoral scanner and that of a conventional intraoral scanner for complete-arch fixed dental prostheses. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2022 Nov 1;128(5):1009–16.
10. Conejo J, Ordway M, Yoo TH, Fraiman HP, Atria PJ, Retana L, et al. In Vitro Comparison Between Complete-Arch Implant Supported Frameworks Using Intraoral Scanning and Photogrammetry. *Int J Prosthodont*. 2025 May;1–17.
11. Abduo J, Bennani V, Waddell JN, Lyons KM. Assessing the Fit of Implant Fixed Prostheses: A Critical Review [Internet]. 2010. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/297561719>

12. International Organization for Standardization. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 1: General principles and definitions. Geneva: ISO; 1994.
13. Martínez-Rus F, García C, Santamaría A, Özcan M, Pradíes G. Accuracy of definitive casts using 4 implant-level impression techniques in a scenario of multi-implant system with different implant angulations and subgingival alignment levels. *Implant Dent.* 2013 Jun;22(3):268–76.
14. Manicone PF, De Angelis P, Rella E, Damis G, D’addona A. Patient preference and clinical working time between digital scanning and conventional impression making for implant-supported prostheses: A systematic review and meta-analysis. Vol. 128, *Journal of Prosthetic Dentistry.* Elsevier Inc.; 2022. p. 589–96.
15. Mangano FG, Admakin O, Bonacina M, Lerner H, Rutkunas V, Mangano C. Trueness of 12 intraoral scanners in the full-arch implant impression: A comparative in vitro study. *BMC Oral Health.* 2020 Sep 22;20(1).
16. Larisse A, Pereira C, Rafaelli M, Curinga S, Vieira H, Segundo M, et al. Factors that influence the accuracy of intraoral scanning of total edentulous arches rehabilitated with multiple implants: A systematic review.
17. 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 May 1;10(1).
18. Revilla-León M, Barmak AB, Lanis A, Kojs 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. *Journal of Prosthetic Dentistry.* 2024;
19. Azevedo L, Marques T, Karasan D, Fehmer V, Sailer I, Correia A, et al. Effect of splinting scan bodies on the trueness of complete arch digital implant scans with 5 different intraoral scanners.
20. Huang R, Liu Y, Huang B, Zhang C, Chen Z, Li Z. Improved scanning accuracy with newly designed scan bodies: An in vitro study comparing digital versus conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation. *Clin Oral Implants Res.* 2020 Jul 1;31(7):625–33.
21. Vitai V, Németh A, Sólyom E, Czumbel LM, Szabó B, Fazekas R, et al. Evaluation of the accuracy of intraoral scanners for complete-arch scanning: A systematic review and network meta-analysis. Vol. 137, *Journal of Dentistry.* Elsevier Ltd; 2023.
22. Gómez-Polo M, Cascos R, Ortega R, Barmak AB, Kojs JC, Revilla-León M. Influence of arch location and scanning pattern on the scanning accuracy, scanning time, and number of photographs of complete-arch intraoral digital implant scans. *Clin Oral Implants Res.* 2023 Jun 1;34(6):591–601.

23. Real Academia Española. Fotogrametría. 2023.
24. Lie A, Jemt T. Photogrammetric measurements of implant positions. Description of a technique to determine the fit between implants and superstructures. *Clin Oral Implants Res.* 1994;5(1):30–6.
25. Pradíes G, Ferreiroa A, Özcan M, Giménez B, Martínez-Rus F. Using stereophotogrammetric technology for obtaining intraoral digital impressions of implants. *Journal of the American Dental Association.* 2014;145(4):338–44.
26. Fu XJ, Cai ZZ, Shi JY, Qiao SC, Tonetti MS, Lai HC, et al. Accuracy of a Novel Intraoral Photogrammetry Technique for Complete-Arch Implant Impressions: An In Vitro Study. *Clin Oral Implants Res.* 2025;
27. Pozzi A, Carosi P, Gallucci GO, Nagy K, Nardi A, Arcuri L. Accuracy of complete-arch digital implant impression with intraoral optical scanning and stereophotogrammetry: An in vivo prospective comparative study. *Clin Oral Implants Res.* 2023 Oct 1;34(10):1106–17.
28. Orejas-Perez J, Gimenez-Gonzalez B, Ortiz-Collado I, Thuissard IJ, Santamaria-Laorden A. In Vivo Complete-Arch Implant Digital Impressions: Comparison of the Precision of Three Optical Impression Systems. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Apr 1;19(7).
29. Estibalez-Recasens M, Serrano-Granger C, Santamaría-Laorden A, Andreu-Vázquez C, Orejas-Pérez J. Precision of stereophotogrammetry in complete arch implant recordings: A clinical study.
30. Santamaría-Laorden A, Marugán AM, Andreu-Vázquez C, Orejas-Pérez J. Complete arch implant capture using a photogrammetry algorithm and smartphone app: An in vitro study. 2025; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105969>
31. Jain S, Ali Daak H, Someli LA, Alamer AY, Apratim A, Ali Akoor RM, et al. Accuracy of Stereophotogrammetry Technique versus Intraoral Scanners for Complete-Arch Implant Digital Impressions: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Eur J Dent.* 2025;
32. Hussein MO. Photogrammetry technology in implant dentistry: A systematic review.
33. Revilla-León M, Gómez-Polo M, Drone M, Barmak AB, Kois JC, Alonso Pérez-Barquero J. Accuracy of complete arch implant scans recorded by using intraoral and extraoral photogrammetry systems.
34. PIC Dental. Precise Implant Capture [Internet]. 2024. Available from: <https://picdental.com/>
35. Revilla-León M, Rubenstein J, Methani MM, Piedra-Cascón W, Özcan M, Att W. Trueness and precision of complete-arch photogrammetry implant scanning assessed with a coordinate-measuring machine.

36. Tohme H, Lawand G, Chmielewska M, Makhzoume J. Comparison between stereophotogrammetric, digital, and conventional impression techniques in implant-supported fixed complete arch prostheses: An in vitro study.
37. Pozzi A, Agliardi E, Lio F, Nagy K, Nardi A, Arcuri L. Accuracy of intraoral optical scan versus stereophotogrammetry for complete-arch digital implant impression: An in vitro study. *J Prosthodont Res.* 2024;68(1):172–80.
38. Goldstein GR. Making clinical sense of 3-dimensional metrology software programs. Vol. 131, *Journal of Prosthetic Dentistry.* Elsevier Inc.; 2024. p. 925–32.
39. Figueras-Álvarez O, Blanco-Antona L, Quispe-López N, Pamies-Jordana B, Espona-Roig J, Montero J. A comparative analysis of soft tissue volumetric alterations utilizing root mean square and positive and negative average calculations through two software. *J Dent.* 2025;156:105730.
40. Li J, Chen Z, Nava P, Yang S, Calatrava J, Wang HL. Calibrated intraoral scan protocol (CISP) for full-arch implant impressions: An in vitro comparison to conventional impression, intraoral scan, and intraoral scan with scan-aid. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2024 Oct 1;26(5):879–88.
41. Orejas Pérez J, Andreu Vázquez C, Suárez A, Santamaría Laorden A, Laorden AS, Suarez A. Effect of the scan body alignment process on the accuracy of virtual definitive implant casts: a pilot study. 2025; Available from: <https://doi.org/10.4047/jap.2025.17>.
42. 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. *Journal of Prosthetic Dentistry.* 2024 Nov 1;132(5):1044–60.
43. Benabdallah-M'Rabat M, Santamaria-Laorden A, Bertuol-Gessi SF, Martínez-Marugán A, Suarez-García A, Thuissard IJ, et al. Influence of camera position, implant angulation and implant reference on the accuracy of complete arch implant recordings with photogrammetry. *J Adv Prosthodont [Internet].* 2025;17(5):292. Available from: <https://jap.or.kr/DOIx.php?id=10.4047/jap.2025.17.5.292>
44. Yan Y, Lin X, Yue X, Geng W. Accuracy of 2 direct digital scanning techniques in intraoral scanning and stereophotogrammetry for complete arch implant-supported fixed prostheses: A prospective study.
45. Revilla-León M, Kois JC. Parameters to Improve the Accuracy of Intraoral Scanners for Fabricating Tooth-Supported Restorations. Vol. 37, *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry.* John Wiley and Sons Inc; 2025. p. 277–87.



## ANEXOS

### ANEXO 1: Aprobación del Comité de ética de la investigación de la fundación Jiménez Díaz



#### DICTAMEN INICIAL PARA INVESTIGACIONES CLINICAS CON PRODUCTOS SANITARIOS

Dra. Lucía Llanos Jiménez, Secretaria Técnica del COMITE DE ÉTICA DE LA INVESTIGACION DE LA FUNDACION JIMENEZ DIAZ

#### CERTIFICA:

Que en la reunión del CEIm-FJD que tuvo lugar el 28/01/2025 (acta nº 02/25) se evaluó el estudio referido y, tras evaluar las respuestas a las aclaraciones mayores en la reunión del 25/02/2025 (acta nº 04/25), ha decidido:

**A P R O B A R**

La propuesta para que se realice el estudio:

**Título:** "Análisis in vivo de la fiabilidad de un sistema de impresión de implantes basado en la estereofotogrametría pic2"

**Investigador Principal:** JOSE LUIS QUIROS. Universidad Europea de Madrid

**Servicio:** Odontología

**Promotor:** Universidad Europea de Madrid

**Código CEI:** PIC028-25\_OTROS

**Documentos con versiones:**

PROTOCOLO	Versión 2.0, Febrero de 2025
HIP/CI GENERAL - Prótesis nueva	Versión 2.0, Febrero de 2025
HIP/CI GENERAL - Usuario de prótesis	Versión 2.0, Febrero de 2025

Además, hace constar que:

1. En dicha reunión se cumplieron los requisitos establecidos en la legislación vigente –Decreto 39/94 de la CAM– para que la decisión del citado CEIm sea válida.
2. El Estudio reúne las normas éticas estándar de nuestra Institución para la realización de este tipo de estudios.
3. Se cumplen los preceptos éticos formulados en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica mundial sobre principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos y en sus posteriores revisiones, así como aquellos exigidos por la normativa aplicable en función de las características del estudio.
4. El CEImFJD, tanto en su composición como en sus procedimientos, cumple con las normas de BPC (CPMP/ICH/135/95) y con la legislación vigente que regula su funcionamiento, y que la composición del CEIm FJD es la indicada en el anexo I, teniendo en cuenta que en el caso de que algún miembro participe en el estudio o declare algún conflicto de interés no habrá participado en la evaluación ni en el dictamen.
5. Asimismo, hacemos constar que no existe contraprestación económica para el centro y los investigadores.
6. Además, este comité recuerda al Promotor (\*) la obligación, en el caso de que se trate de un estudio prospectivo, de realizar el registro del estudio en una base de datos de acceso público antes de reclutar el primer paciente así como el seguimiento del estudio de acuerdo a la legislación vigente.

(\*) Para estudios promovidos por investigadores del IISFJD, se debe contactar con la Unidad de Investigación Clínica para información sobre cómo proceder para registrar el estudio ([lucia.llanos@quironsalud.es](mailto:lucia.llanos@quironsalud.es))

Lo que firmo en Madrid a 25 de febrero de 2025

Dra. Lucía Llanos Jiménez  
Secretaría Técnica CEImFJD

PIC028-25\_OTROS

C/ Isaac Peral, 42 Oficinas, . Oficina 1. 28016-Madrid  
Teléfono: 91 5443720 - e-mail: ceic@fjd.es

## Anexo I COMPOSICIÓN DEL CEIm

<b>Presidente</b>	JAVIER BECARES MARTÍNEZ (Farmacéutico - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz)
<b>Vicepresidente</b>	MACARENA BONILLA PORRAS (Farmacéutico - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz)
<b>Secretario técnico</b>	LUCÍA LLANOS JIMÉNEZ (Farmacóloga - Miembro Comité de Investigación - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz)
<b>Vocales</b>	MIRIAM BLANCO RODRIGUEZ (Médico Asistencial - Pediatría - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz) RAÚL CÓRDOBA MASCUÑANO (Médico Asistencial - Hematología - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz) ANA GARCÍA DIAZ (Abogado-a) FRANCISCO JAVIER RUIZ HORNILLOS (Médico Asistencial. Miembro Comité de Investigación y Miembro del Comité de Ética Asistencial - Alergia - Hospital Universitario Infanta Elena) ANA DÍEZ ALCÁNTARA (Farmacéutico de Atención Primaria. Dirección Asistencial Noroeste) SANDRA ZAZO HERNÁNDEZ (Bióloga Asistencial - Miembro Comité de Investigación - Anatomía Patológica - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz) ROSA SANCHEZ HERNANDEZ (Médico Asistencial - Nefrología - Hospital General de Villalba) MARTA MARIN CRESPO (Abogado-a) FERNANDO ABELLAN-GARCIA SANCHEZ (Abogado-a) MIGUEL MIR CORDERO (Lego no vinculado a la Institución) CAROLINA GOTERA RIVERA (Médico Asistencial - Neumología - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz) MONTIEL JIMÉNEZ FUENTES (Médico Asistencial - Cirugía Digestivo / General - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz) ANGELA LAMARCA LETE (Médico Asistencial - Oncología - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz) JOSE ANTONIO RUEDA CAMINO (Médico Asistencial - Miembro Comité de Investigación - Medicina Interna - Hospital Universitario Rey Juan Carlos) ANNA CAROLINA MIRANDA CASTILLO (Médico Asistencial - Hematología - Hospital Universitario Rey Juan Carlos) ROBERTO MARTIN REYES (Médico Asistencial - Cardiología - Hospital Universitario La Luz) IGNACIO MAHILLO FERNANDEZ (Bioestadístico y Epidemiólogo - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz - Miembro CEIm Regional) ANA LORENA PEREZ HERNANDEZ, (DUE - Enfermería - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz) NELIDA MUÑOZ SANZ, (Médico Asistencial - Miembro Comité de Investigación) IRENE CARRILLO ACOSTA (Médico Asistencial - Medicina Interna - Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz) FRANCISCO JAVIER GONZALEZ GARCIA (Médico Asistencial)

## Anexo II CENTROS E INVESTIGADORES PRINCIPALES Y COLABORADORES

**Título:** "Análisis in vivo de la fiabilidad de un sistema de impresión de implantes basado en la estereofotogrametría pic2".

**Investigador Principal:** JOSE LUIS QUIROS. Universidad Europea de Madrid

**Servicio:** Odontología

**Promotor:** IDITEC NORTH WEST S.L.

**Código CEI:** PIC028-25\_OTROS

**Documentos con versiones:**

PROTOCOLO	Versión 2.0, Febrero de 2025
HIP/CI GENERAL - Prótesis nueva	Versión 2.0, Febrero de 2025
HIP/CI GENERAL - Usuario de prótesis	Versión 2.0, Febrero de 2025

Fecha de actualización del anexo II: 25/02/2025

JOSE LUIS QUIROS SANCHEZ. Universidad Europea de Madrid

ANA OLIVERO. Universidad Europea de Madrid

PIC028-25\_OTROS

## ANEXO 2:

Tabla de distancias relativas y angulaciones en general, por paciente y por arcada.

	<b>Distance deviation (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Angle deviation (degrees)</b>
<b>Overall</b>		
Mean $\pm$ SD	20.52 $\pm$ 15.90	0.20 $\pm$ 0.17
Median [p25, p75]	16.93 [7.77, 29.86]	0.15 [0.07, 0.28]
<b>By patient</b>		
<b>Patient 1</b>		
Mean $\pm$ SD	20.18 $\pm$ 13.51	0.19 $\pm$ 0.14
Median [p25, p75]	17.24 [9.64, 29.96]	0.19 [0.07, 0.27]
<b>Patient 2</b>		
Mean $\pm$ SD	23.47 $\pm$ 16.97	0.19 $\pm$ 0.20
Median [p25, p75]	19.49 [11.50, 31.89]	0.12 [0.07, 0.24]
<b>Patient 3</b>		
Mean $\pm$ SD	33.10 $\pm$ 20.34	0.22 $\pm$ 0.16
Median [p25, p75]	31.01 [17.66, 47.04]	0.17 [0.08, 0.35]
<b>Patient 4</b>		
Mean $\pm$ SD	20.49 $\pm$ 15.21	0.21 $\pm$ 0.20
Median [p25, p75]	18.00 [8.86, 28.78]	0.16 [0.06, 0.30]
<b>Patient 5</b>		
Mean $\pm$ SD	16.53 $\pm$ 11.93	0.20 $\pm$ 0.16
Median [p25, p75]	14.17 [7.67, 23.66]	0.16 [0.07, 0.32]
<b>Patient 6</b>		
Mean $\pm$ SD	16.98 $\pm$ 13.01	0.22 $\pm$ 0.19
Median [p25, p75]	13.05 [7.31, 26.74]	0.18 [0.08, 0.32]
<b>Patient 7</b>		
Mean $\pm$ SD	19.32 $\pm$ 15.22	0.16 $\pm$ 0.13
Median [p25, p75]	14.58 [7.14, 30.05]	0.13 [0.06, 0.24]

Patient 8		
Mean $\pm$ SD	12.31 $\pm$ 9.76	0.21 $\pm$ 0.15
Median [p25, p75]	10.34 [4.50, 17.18]	0.19 [0.07, 0.32]
<b>By dental arch</b>		
Maxillary arch		
Mean $\pm$ SD	20.37 $\pm$ 15.69	0.20 $\pm$ 0.16
Median [p25, p75]	16.88 [8.03, 29.78]	0.16 [0.07, 0.29]
Mandibular arch		
Mean $\pm$ SD	21.11 $\pm$ 16.76	0.20 $\pm$ 0.20
Median [p25, p75]	17.43 [7.44, 30.01]	0.13 [0.06, 0.27]
SD, standard deviation		
p, percetile		

ANEXO II: Estimaciones de los efectos fijos del modelo mixto que evalúa la influencia de la arcada dental y del tramo interimplantario sobre la *trueness* lineal (desviación de distancia transformada logarítmicamente)

	Estimate	Robust Standard Error	p-value	95% Confidence Interval	
<b>Intercept</b>	2,54	0,26	<0.001	2,02	3,05
<b>Dental arch</b>					
<b>Upper (vs. Lower)</b>	0,14	0,02	<0.001	0,09	0,19
<b>Implant span</b>					
<b>1 to 3 (vs. 1 to 2)</b>	0,10	0,30	0,734	-0,49	0,70
<b>1 to 4 (vs. 1 to 2)</b>	-0,11	0,39	0,774	-0,88	0,66
<b>1 to 5 (vs. 1 to 2)</b>	-0,44	0,36	0,220	-1,13	0,26
<b>1 to 6 (vs. 1 to 2)</b>	-0,51	0,26	0,051	-1,02	0,00
<b>2 to 3 (vs. 1 to 2)</b>	0,14	0,33	0,678	-0,51	0,78
<b>2 to 4 (vs. 1 to 2)</b>	0,20	0,32	0,526	-0,42	0,82
<b>2 to 5 (vs. 1 to 2)</b>	0,10	0,33	0,749	-0,53	0,74
<b>2 to 6 (vs. 1 to 2)</b>	-0,48	0,29	0,101	-1,05	0,09

<b>3 to 4 (vs. 1 to 2)</b>	-0,31	0,36	0,384	-1,02	0,39
<b>3 to 5 (vs. 1 to 2)</b>	0,10	0,38	0,790	-0,64	0,85
<b>3 to 6 (vs. 1 to 2)</b>	-0,03	0,30	0,923	-0,61	0,55
<b>4 to 5 (vs. 1 to 2)</b>	-0,09	0,36	0,795	-0,80	0,61
<b>4 to 6 (vs. 1 to 2)</b>	-0,02	0,36	0,964	-0,71	0,68
<b>5 to 6 (vs. 1 to 2)</b>	0,20	0,24	0,402	-0,27	0,67

ANEXO: TABLA 3

Estimaciones de los efectos fijos del modelo mixto que evalúa la influencia de la arcada dental y del tramo interimplantario sobre la *trueness* lineal (desviación de distancia transformada logarítmicamente)

		<b>Estimate</b>	<b>Robust Standard Error</b>	<b>p-value</b>	<b>95% Confidence Interval</b>	
<b>Intercept</b>		-2,33	0,26	<0.001	-2,85	-1,82
<b>Dental arch</b>						
<b>Upper (vs. Lower)</b>		0,10	0,10	0,310	-0,09	0,30
<b>Implant span</b>						
<b>1 to 3 (vs. 1 to 2)</b>		0,35	0,22	0,105	-0,07	0,78
<b>1 to 4 (vs. 1 to 2)</b>		0,11	0,30	0,709	-0,47	0,70
<b>1 to 5 (vs. 1 to 2)</b>		0,10	0,32	0,748	-0,52	0,72
<b>1 to 6 (vs. 1 to 2)</b>		0,19	0,32	0,559	-0,45	0,83
<b>2 to 3 (vs. 1 to 2)</b>		0,50	0,28	0,072	-0,04	1,04
<b>2 to 4 (vs. 1 to 2)</b>		0,05	0,33	0,878	-0,59	0,69
<b>2 to 5 (vs. 1 to 2)</b>		0,21	0,37	0,562	-0,51	0,94
<b>2 to 6 (vs. 1 to 2)</b>		0,18	0,39	0,653	-0,59	0,95
<b>3 to 4 (vs. 1 to 2)</b>		-0,19	0,26	0,448	-0,69	0,31
<b>3 to 5 (vs. 1 to 2)</b>		0,07	0,17	0,671	-0,26	0,40
<b>3 to 6 (vs. 1 to 2)</b>		0,21	0,27	0,438	-0,33	0,75
<b>4 to 5 (vs. 1 to 2)</b>		-0,12	0,33	0,715	-0,76	0,52
<b>4 to 6 (vs. 1 to 2)</b>		0,30	0,32	0,348	-0,32	0,92
<b>5 to 6 (vs. 1 to 2)</b>		0,22	0,25	0,372	-0,27	0,72