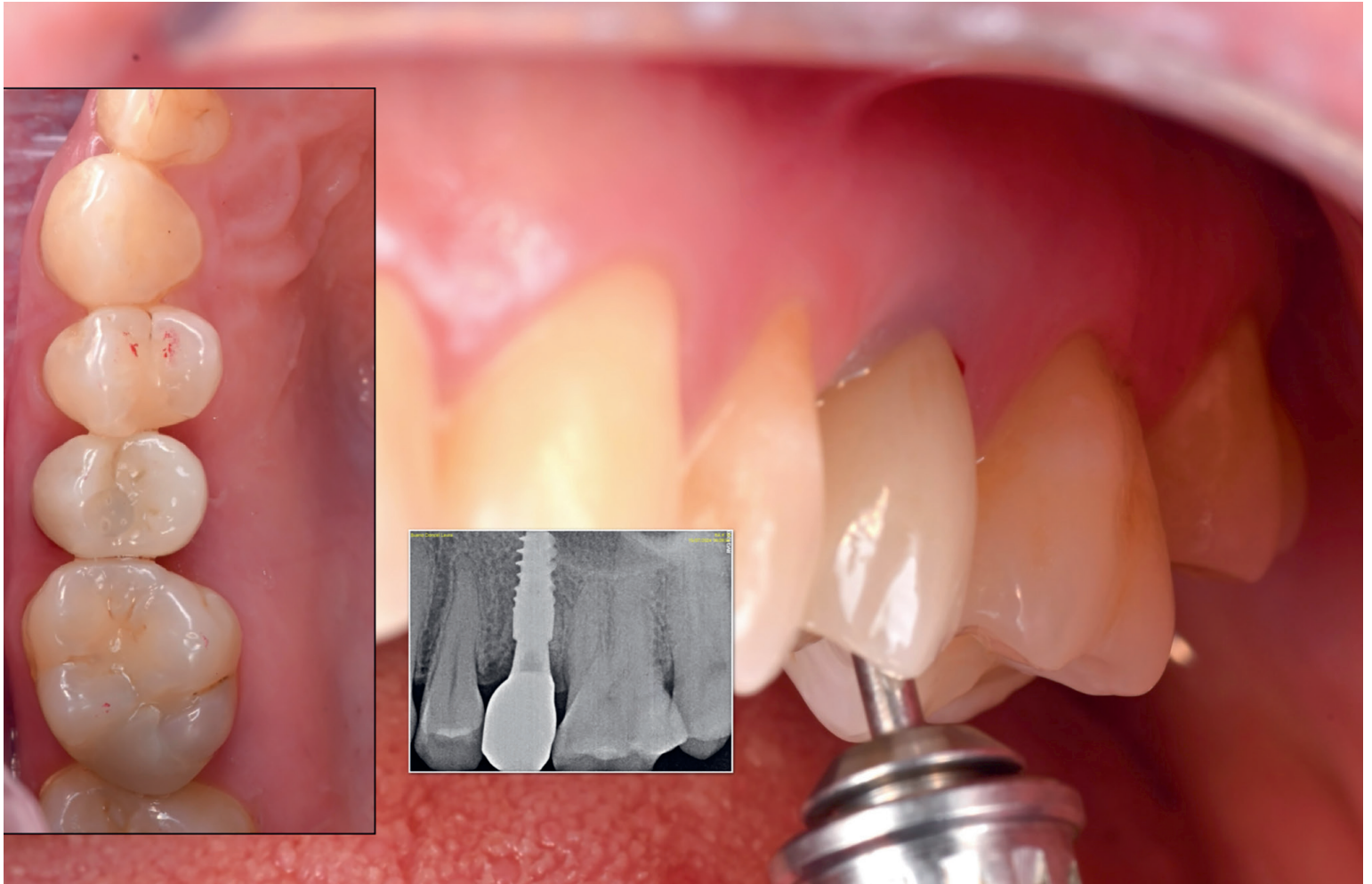
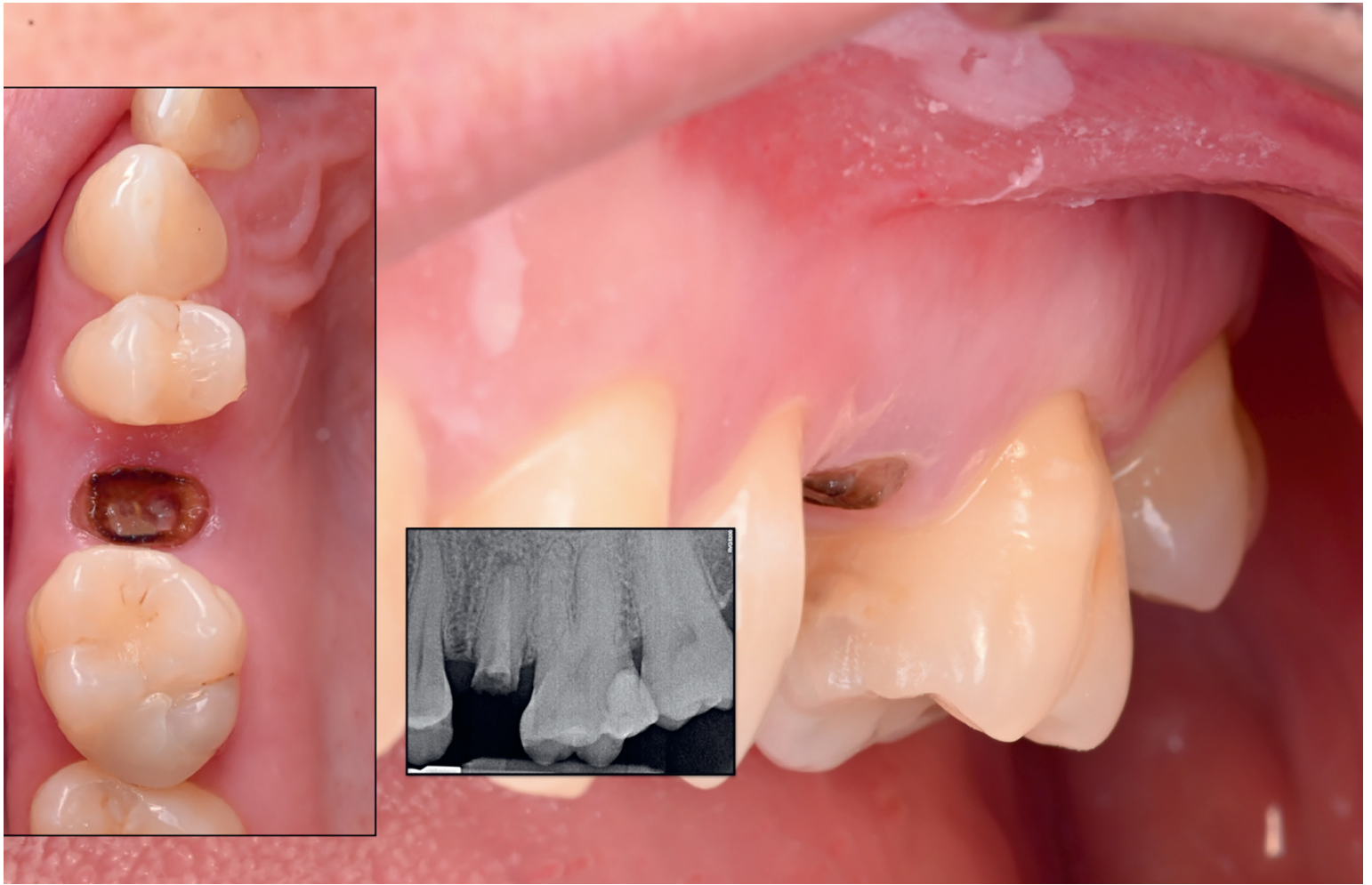




IMPRESIÓN 3D APLICADA AL ENFOQUE BIORESTAURADOR: PILARES DE CICATRIZACIÓN PERSONALIZADOS Y GUÍAS QUIRÚRGICAS.

IGNACIO PEDRINACI, GARY FINELLE, GERMAN O. GALLUCCI.

Ignacio Pedrinaci. Departamento de Periodoncia, Universidad Complutense de Madrid, Madrid. División de Ciencias Regenerativas e Implantológicas, Departamento de Odontología Restauradora y Ciencias de Biomateriales, Facultad de Odontología de la Universidad de Harvard, Boston, Massachusetts, EE. UU.

Gary Finelle. División de Ciencias Regenerativas e Implantológicas, Departamento de Odontología Restauradora y Ciencias de Biomateriales, Facultad de Odontología de la Universidad de Harvard, Boston, Massachusetts, EE. UU.

German O. Gallucci. División de Ciencias Regenerativas e Implantológicas, Departamento de Odontología Restauradora y Ciencias de Biomateriales, Facultad de Odontología de la Universidad de Harvard, Boston, Massachusetts, EE. UU.

Correspondencia a:

Ignacio Pedrinaci
ipedrinaci@gmail.com

RESUMEN

Introducción

La planificación digital y la impresión 3D han transformado la implantología contemporánea al permitir una integración precisa entre el enfoque quirúrgico y protético bajo el concepto biorestaurador (BR). Este enfoque mejora la predictibilidad de los tratamientos, reduce la morbilidad y favorece la preservación de los tejidos periimplantarios.

Presentación del caso

Se describe el tratamiento de una paciente de 43 años con fractura horizontal de la pieza 25. Se realizó una extracción atraumática seguida de colocación inmediata de un implante mediante cirugía guiada (sCAIS, *static Computer Aided Implant Surgery*). Se preservó el alvéolo con xenoinjerto y se selló con un pilar de cicatrización personalizado (SSA, *Sealing Socket Abutment*), diseñado a partir de una réplica 3D del resto radicular. El flujo de trabajo incluyó registros digitales (CBCT, *Cone Beam Computed Tomography*; IOS, *Intra Oral Scan*), segmentación con inteligencia artificial (IA), planificación protética 3D y fabricación interna de férula quirúrgica y SSA.

Discusión

Este caso clínico demuestra cómo la combinación de impresión 3D e IA permite fabricar componentes supraimplantarios personalizados, optimizando los resultados clínicos y estéticos. La planificación digital facilita procedimientos mínimamente invasivos y altamente predecibles, alineados con los principios del enfoque BR.



Ignacio Pedrinaci



Gary Finelle



German O. Gallucci

Conclusión

La personalización del pilar de cicatrización permitió preservar la arquitectura tisular y simplificar el proceso restaurador. Este enfoque integral, reproducible y centrado en el paciente, representa una alternativa eficiente y mínimamente invasiva, con potencial para establecer nuevos estándares clínicos en implantología moderna.

INTRODUCCIÓN

LA PLANIFICACIÓN DIGITAL en clínica y la impresión 3D ofrecen múltiples ventajas en la implantología contemporánea, incluyendo una mayor eficiencia clínica, menor morbilidad y tiempo en sillón para el paciente, así como resultados más predecibles, con mayores tasas de éxito a largo plazo y mejor satisfacción general del paciente.

Lo más relevante de este flujo digital es que permite integrar dos enfoques bien establecidos en implantología: el enfoque quirúrgico y el protético, facilitando su fusión dentro de un ecosistema de trabajo virtual. Este enfoque contemporáneo, que incorpora principios tanto biológicos como restauradores a través de la tecnología digital, se conoce en la literatura como el concepto biorestaurador (BR) (Pedrinaci y cols. 2024).

Los elementos clave del flujo de trabajo digital BR incluyen: (a) disposición digital de los dientes (DTA, *Digital Tooth Arrangement*); (b) evaluación de tejidos duros y blandos; (c) variables específicas del implante; (d) diseño de los “componentes supraplataforma”; (e) plan quirúrgico adaptado para preservar u optimizar el fenotipo periimplantario.

Este cambio de paradigma tiene el potencial de redefinir los estándares clínicos en implantología, promoviendo un enfoque más integral y centrado en el paciente. Al considerar simultáneamente las características anatómicas específicas del sitio y los requerimientos protéticos, la planificación digital pretende mejorar la predictibilidad y potencialmente el éxito a largo plazo de las restauraciones implanto-soportadas (RIS), y además puede contribuir a una notable reducción en la morbilidad del paciente.

Para planificar e integrar adecuadamente estos elementos, es esencial una adquisición precisa de datos y el registro de archivos (Markovic y cols. 2024). Esto implica la fusión de datos anatómicos radiográficos (p. ej., archivos DICOM, *Digital Imaging and Communication in Medicine*) con escaneos de superficie (p. ej., archivos STL o PLY, *Polygon File Format*), lo que forma el conjunto de datos básico para cualquier proceso de planificación BR. Igualmente importante es la integración de la impresión 3D dental en la práctica clínica. Actualmente, la tecnología de impresión 3D permite la producción *in-house* de guías quirúrgicas, pilares de cicatrización personalizados y restauraciones provisionales, customizadas para cada situación clínica específica.

En este artículo se presenta un caso clínico en el que se planificó y ejecutó el concepto BR en un caso de colocación inmediata de implante (tipo 1) (Gallucci y cols. 2018) con sellado alveolar mediante SSA (Finelle y Lee 2017). Se presta especial atención al punto clave (d), el diseño de componentes supraplataforma, a través de la personalización de pilares de cicatrización (SSA) utilizando IA. Además, se utilizó una guía quirúrgica para realizar la colocación del implante mediante sCAIS, permitiendo una colocación tridimensional precisa del implante basada en los conceptos BR.

PRESENTACIÓN DEL CASO

a. Problema de la paciente

Una paciente de 43 años acudió a una consulta odontológica tras presentar una fractura horizontal completa a nivel gingival de la pieza 25 con corona de recubrimiento total. No refería antecedentes médicos de interés y no era fumadora. La paciente manifestó haber recibido múltiples tratamientos previos en ese diente y mostró preferencia por una solución con el menor número de intervenciones posible.

b. Diagnóstico

El examen intraoral reveló la integración completa de ambas hemiarcadas, excepto por la ausencia de los terceros molares. Se observó una gran obturación de resina compuesta en distal de la pieza 26 y una fractura a nivel del margen gingival de la pieza 25, sin afectación de los tejidos blandos (Figura 1).

El examen periodontal inicial mostró un índice de placa del 21 % y un índice de sangrado del 32 %. No se registraron profundidades de sondaje superiores a 4 mm, excepto en dos localizaciones distales a los segundos molares.

El análisis radiográfico evidenció un tratamiento endodóntico previo en el resto radicular, asociado a una imagen compatible con lesión periapical crónica. Los picos óseos interproximales se mantenían, y se observó una leve inclinación distal del resto radicular.

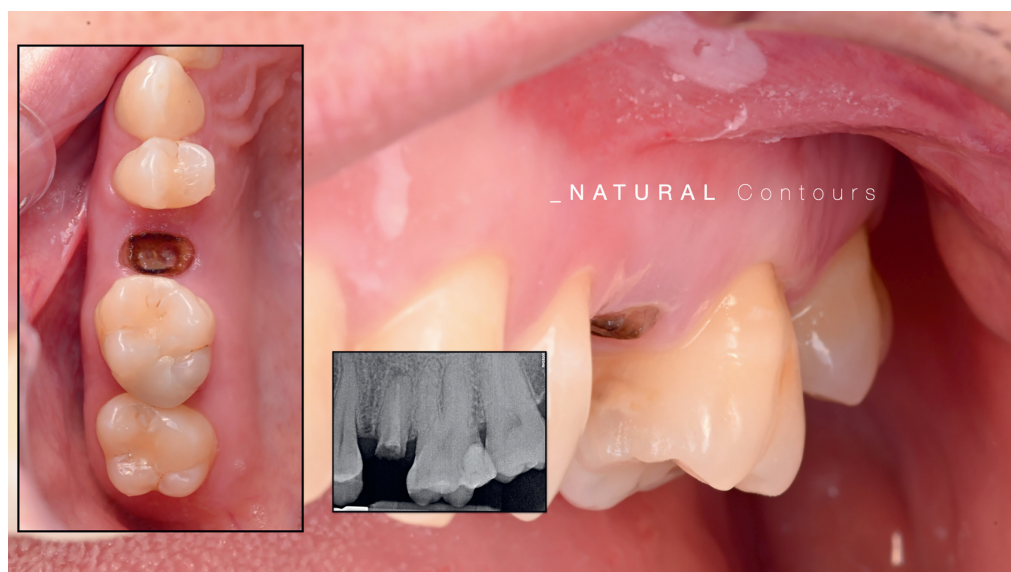


Figura 1.
Situación inicial clínica y radiográfica. Fractura coronal horizontal a nivel del margen gingival.

c. Objetivo del tratamiento

Los objetivos fueron:

- Realizar la extracción lo más atraumáticamente posible de la pieza 25.
- Colocar un implante inmediato, evitando la invasión del seno maxilar, mediante sCAIS con una férula 3D impresa en clínica.
- Preservar los tejidos y proteger el alvéolo mediante un material de regeneración (xenoinjerto) y sellado con un pilar de cicatrización personalizado (SSA) diseñado con IA y fabricado en la clínica mediante impresión 3D.
- Finalizar el tratamiento con una restauración definitiva a través de un protocolo completamente digital (triple escaneado) (Papaspnyridakos y cols. 2020) que permitiera transmitir con precisión los perfiles de emergencia creados durante la fase provisional.

d. Factores modificadores

Dado el historial extenso de tratamientos en dicha pieza, la paciente rechazó la opción de realizar un nuevo tratamiento endodóntico, así como procedimientos como alargamiento coronario o extrusión ortodóntica (González-Martín y cols. 2020), que habrían permitido conservar el resto radicular y fabricar una corona dento-soportada.

Gracias a la adecuada disponibilidad ósea para colocar un implante de dimensiones estándar, y con el fin de reducir el número de intervenciones y visitas, se optó por un protocolo de carga convencional (tipo 1C) (Gallucci y cols. 2018). Al tratarse de una paciente joven, con una sonrisa amplia y gran interés estético, se utilizó un pilar de cicatrización personalizado (SSA) (Finelle y Lee 2017) para facilitar la prevención del colapso de tejidos, optimizar el perfil de emergencia de la RIS y facilitar la fabricación digital de la restauración final.

e. Secuencia de tratamiento

1. Toma de registros digitales (DICOM y PLY)

Se realizaron radiografías periapicales y una tomografía CBCT con retracción de tejidos blandos y separación de maxilares (Januário y cols. 2008). En la misma visita, se obtuvo un escaneo intraoral (IOS) utilizando el escáner SIRIOS (Straumann, Basel, Switzerland), exportando el archivo en formato PLY.

2. Segmentación digital de los archivos DICOM

Se importaron los archivos DICOM y los archivos PLY en un *software* de planificación digital (CoDiagnostix®, v.10.7; Dental Wings) y se concedieron los permisos para la utilización de la herramienta de IA de este *software*. Esta herramienta de IA segmenta virtualmente los archivos DICOM mediante un proceso automatizado de manera que genera archivos independientes de dientes, maxilares y otras estructuras anatómicas relevantes. Posteriormente, se verifican los datos por parte del doctor, se modifican si es necesario y se acepta el proceso (Figura 2).

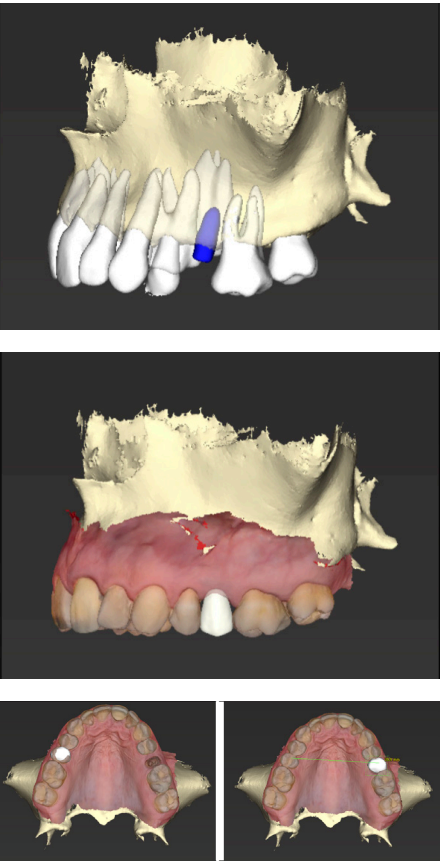


Figura 3.
Uso del diente 15 segmentado virtualmente como "encerado diagnóstico digital" en la posición 25.

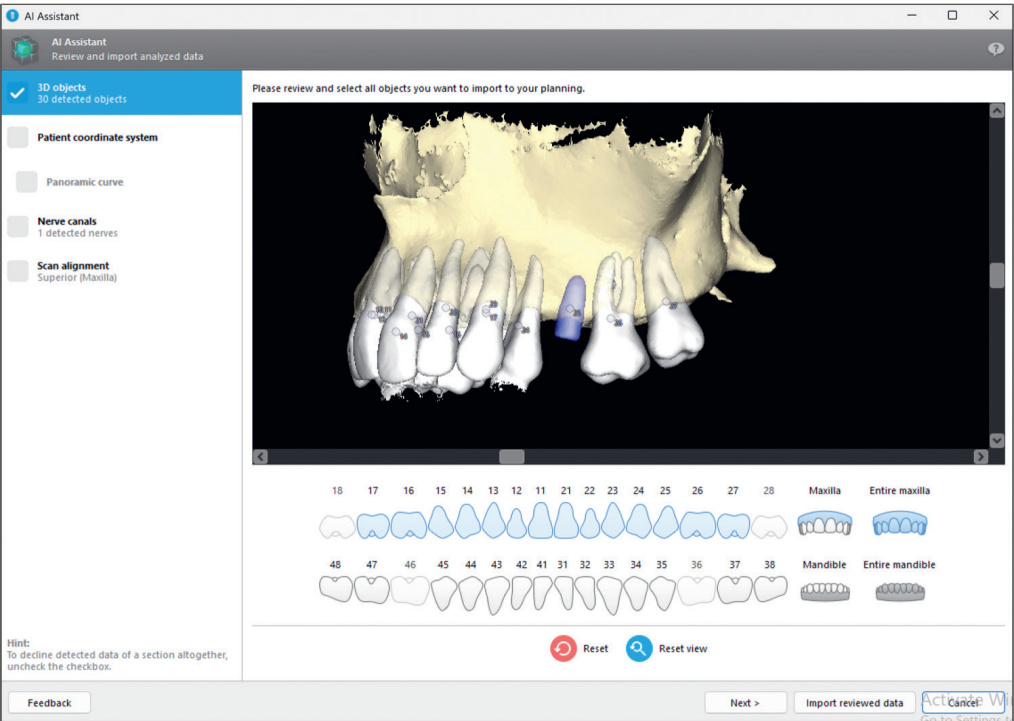


Figura 2.
Asistente de IA del software para segmentación virtual.

Esta segmentación virtual de los dientes de la paciente evitó la necesidad de la creación de un encerado diagnóstico (DTA). En lugar de crear un DTA, se utilizó el diente contralateral (15) que había sido segmentado, virtualmente extraído, copiado y movido a nueva posición, para reposicionarlo en el sitio del 25 como "encerado digital diagnóstico" (DTA) (Figura 3). Igualmente, esta función no solo facilitó la planificación, sino la comunicación con la paciente al entender esta de una manera más visual el procedimiento virtualmente. También contribuyó al diseño de restauraciones provisionales implanto-soportadas para mantener el fenotipo de la paciente (punto 6 – SSA).

3. Alineamiento de registros digitales mediante IA (Figura 4)

Los archivos DICOM del CBCT se fusionaron automáticamente con los archivos PLY del escaneo intraoral en el mismo *software* de planificación implantológica (CoDiagnostix®, v.10.7; Dental Wings), con la misma herramienta de IA que se describe en el apartado anterior. En este caso, una vez segmentadas virtualmente las estructuras que provienen del DICOM, el *software* permite trazar automáticamente la curvatura de la arcada o el alineamiento con los archivos PLY de manera automatizada. Como en el paso anterior, el alineamiento entre ambos archivos fue revisado y validado manualmente por el doctor para aprobar el diseño de la IA.

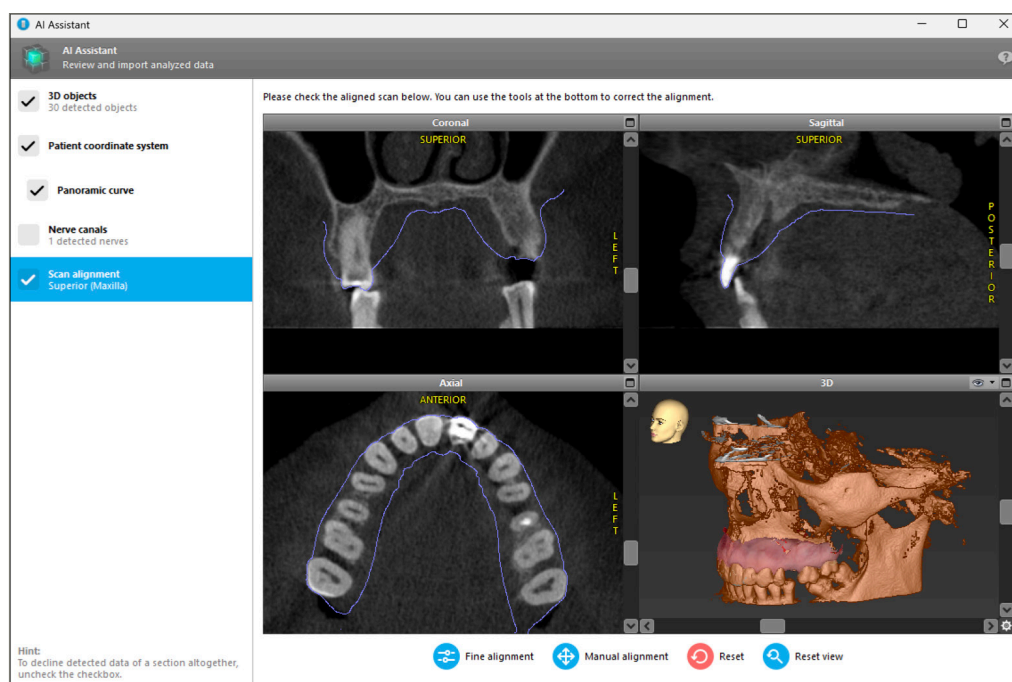


Figura 4.

Alineamiento superior automático mediante IA entre el escaneado intraoral de superficie (.ply) y el archivo DICOM.

4. Planificación 3D del implante y componentes protéticos (Figura 5)

Se seleccionó un implante con un diseño activo para obtener un mayor torque inicial de inserción (Straumann BLX SLActive® 3,75 x 12 mm), diseñado para un protocolo de colocación tipo 1. La elección de longitud y diámetro fue ajustada en función del margen de la restauración prevista (DTA), las condiciones anatómicas (como la proximidad al seno maxilar) y principios BR, incluyendo el fenotipo mucoso y óseo.

5. Selección digital del pilar definitivo (Figura 6)

Un aspecto esencial del enfoque BR es la elección del pilar durante la planificación del implante. En este caso se seleccionó una Ti-Base antirrotatoria para coronas unitarias, con 2,5 mm de altura gingival y 3,8 mm de diámetro (Variobase for crown, Straumann, Basel, Switzerland). Este paso también permitió refinar la posición 3D del implante, realizando ajustes en tiempo real sobre el diseño anterior para conseguir un adecuado perfil de emergencia y respeto del fenotipo (Ávila-Ortiz y cols. 2020).

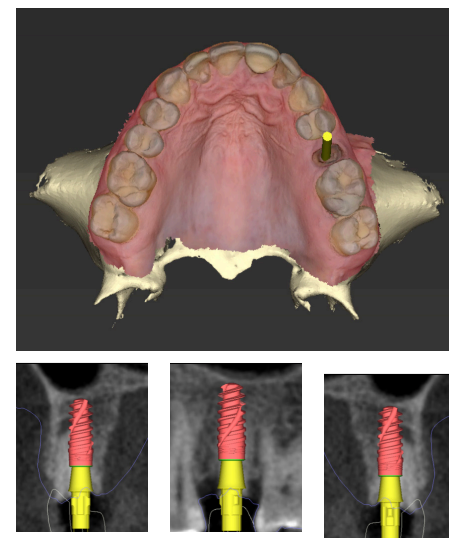


Figura 5.

Planificación BR del implante inmediato. Anclaje de al menos 2 mm apicales con un implante de macrodiseño activo. Nótese que la posición 3D del implante coincide exactamente con la del resto radicular, lo que facilita los pasos futuros para el diseño del pilar personalizado.

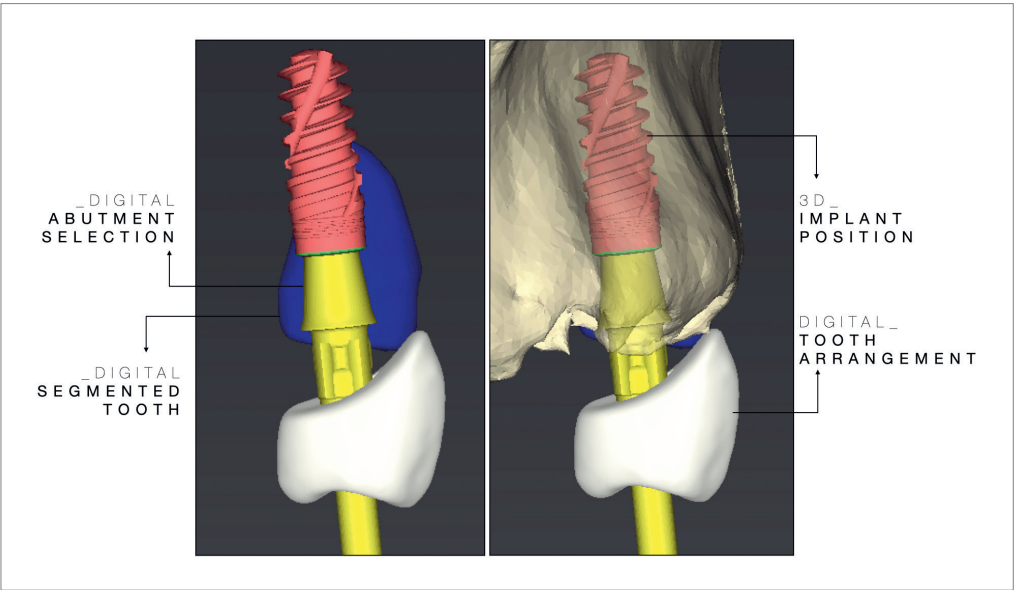


Figura 6. Planificación BR del implante. Selección de la configuración del pilar restaurador. Reconstrucción virtual con IA: uso del resto radicular segmentado virtualmente (azul) y encerado digital diagnóstico (DTA) para la selección digital del pilar definitivo (Ti-Base) y la determinación de la posición 3D del implante.

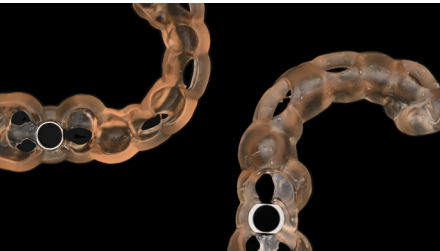


Figura 7. Vista oclusal de la férula fabricada en impresora 3D en clínica, con ventanas de inspección.

6. Diseño de férula quirúrgica y exportación del resto radicular (Figura 7)

Tras definir la posición 3D optimizada del implante y el *offset* quirúrgico, se diseñó una férula quirúrgica dento-soportada con ventanas de inspección. El diseño fue exportado en formato STL para su impresión 3D. Paralelamente, el resto radicular que había sido segmentado virtualmente también fue exportado como un archivo STL independiente para su uso posterior como pilar de cicatrización personalizado (SSA).

7. Impresión 3D de la férula y del resto radicular (Figura 8)

Ambos archivos STL fueron impresos en una impresora 3D de uso clínico (Form 3B, Formlabs Inc.) utilizando resina fotopolimerizable, biocompatible y esterilizable (Surgical Guide Resin, Formlabs Inc.). Tras el posprocesado, las piezas fueron desinfectadas y esterilizadas en autoclave (30 minutos a 121 °C) antes de su uso quirúrgico.

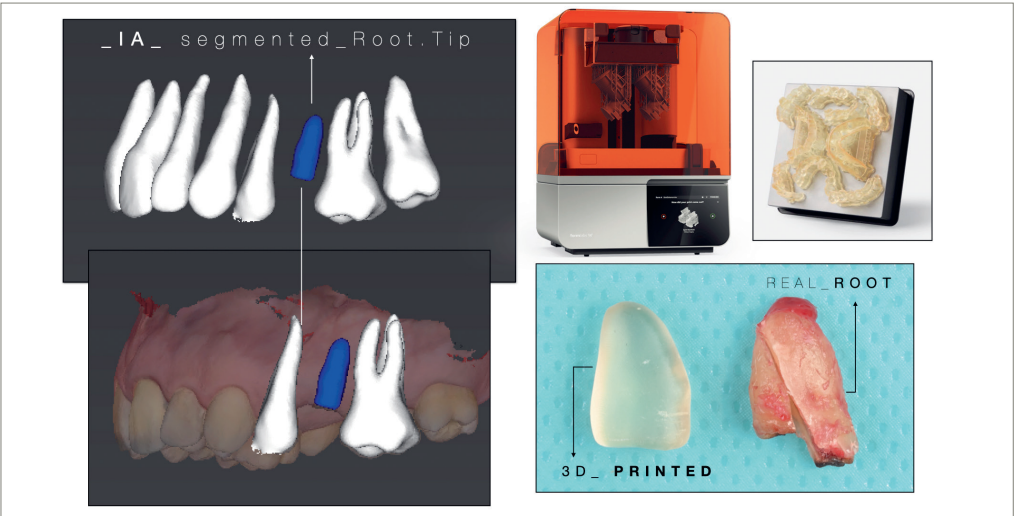


Figura 8. Dientes del paciente segmentados mediante IA (blanco) y resto radicular (azul). Impresión 3D del resto radicular y comparación con el resto extraído. Impresora 3D utilizada para imprimir el resto radicular.

8. Cirugía guiada para colocación del implante (sCAIS) (Figuras 9, 10, 11 y 12)

La férula quirúrgica se colocó en el maxilar superior verificando su estabilidad mediante ventanas de inspección y ausencia de movilidad. Se procedió a una extracción lo más atraumática posible del resto radicular para preservar la tabla bucal y los tejidos blandos. La biorréplica del resto radicular impresa en 3D fue probada intraoralmente para confirmar su adaptación al alvéolo. Este hecho confirma que el proceso de segmentación virtual e impresión 3D había sido correcto y, por tanto, se podía utilizar satisfactoriamente como pilar customizado una vez hubiese sido modificado. Se fresó el lecho de forma completamente guiada con el kit quirúrgico (Straumann® Guided Surgery Cassette), ajustando ligeramente el protocolo propuesto por el *software* para mejorar la estabilidad inicial del implante y evitar desplazamiento bucal del implante en el alvéolo posextracción. El implante se colocó a través de la guía, logrando un torque de inserción >35 N/cm. Se realizó el relleno del alvéolo con xenoinjerto (Bio-Oss, Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Switzerland) (Levine y cols. 2022).

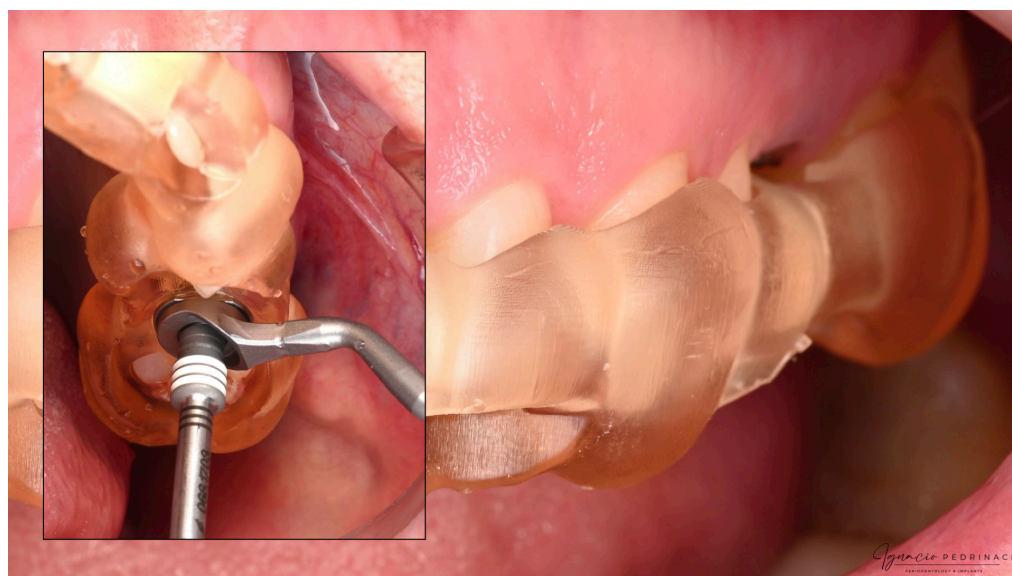


Figura 9.
Férula de cirugía guiada impresa en 3D, dento-soportada y en posición. Fresado completamente guiado.

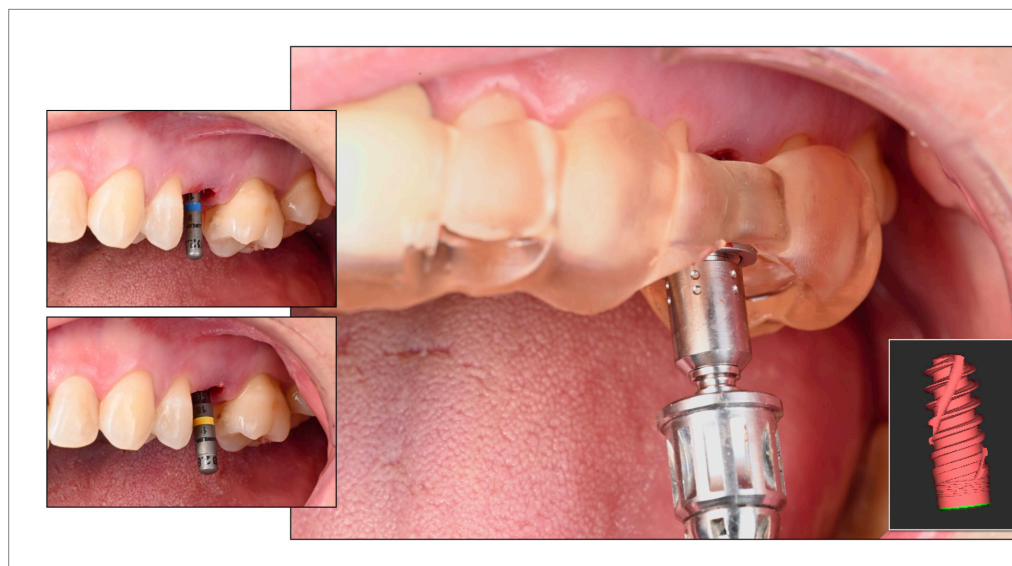


Figura 10.
Imagen clínica (izquierda) con pines de paralelización y profundidad (azul y amarillo) para comprobar el fresado guiado. Imagen clínica de la colocación guiada del implante. Representación virtual del implante (fondo gris).

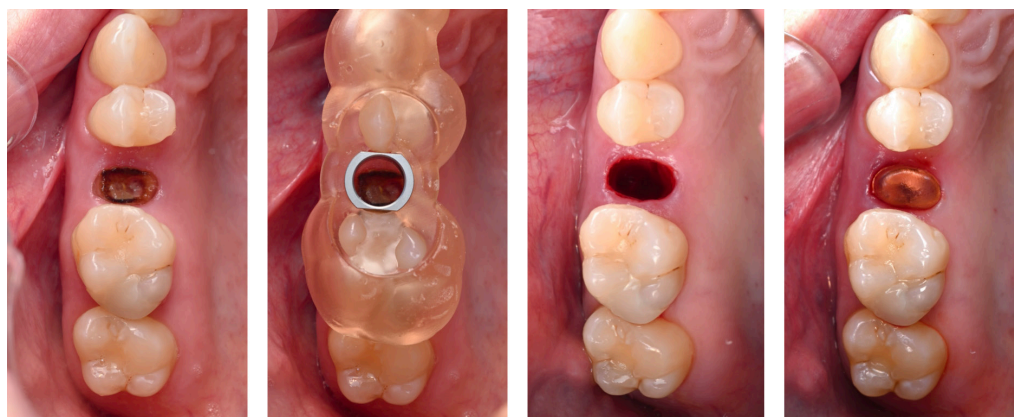


Figura 11.

Procedimiento de colocación del implante mediante sCAIS. Vista clínica oclusal:

1. situación inicial; 2. colocación de la férula de cirugía guiada con ventanas de inspección para comprobar su ajuste; 3. extracción mínimamente invasiva del resto radicular; 4. verificación del ajuste del resto radicular impreso en 3D tras su segmentación virtual, previo a la colocación del implante.

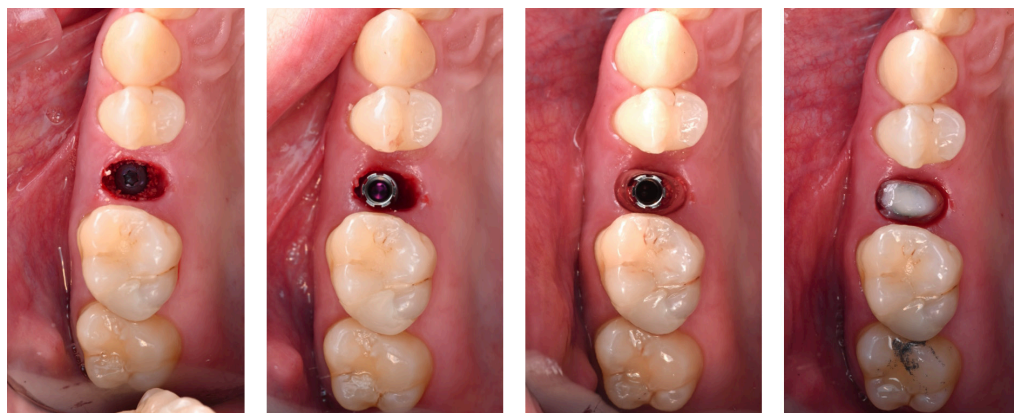


Figura 12.

5. colocación del implante mediante cirugía guiada, con tapón de cierre y relleno del gap con xenoinjerto; 6. atornillado del pilar provisional sin torque; 7. colocación del resto radicular impreso en 3D, previamente perforado, sobre el pilar provisional; 8. recapturación con *composite* fluido tras proteger la chimenea con teflón.

9. Colocación del pilar de cicatrización personalizado diseñado mediante IA (Figura 13)

Tras la colocación del implante, se perforó un canal de diámetro similar al cilindro provisional que se utilizaría (3,8 mm) el centro de la biorréplica del resto radicular impresa en 3D, utilizando una fresa de diamante tronco-cónica en un micromotor, para recapturarla con el cilindro provisional. Este cilindro fue atornillado manualmente al implante y, posteriormente, la biorréplica impresa en 3D fue unida intraoralmente al cilindro provisional mediante resina compuesta fluida. Posteriormente, se desatornilló para completar el sellado con resina extraoralmente, se pulió y se volvió a atornillar en el implante con torque manual (aproximadamente 10 N/cm). No se realizó sutura.

10. Toma de impresiones digitales con técnica de triple escaneado

Ocho semanas después (Figura 14), se realizaron tres escaneos digitales para la confección de la restauración definitiva, siguiendo la técnica de triple escaneo: A) escaneo con el SSA en posición, junto con la arcada opuesta y registro de mordida, B) escaneo del SSA extraoral y C) escaneo de la arcada superior con el *scanbody* colocado.

Se verificó el correcto asentamiento del *scanbody* mediante radiografía periapical (Figura 15).

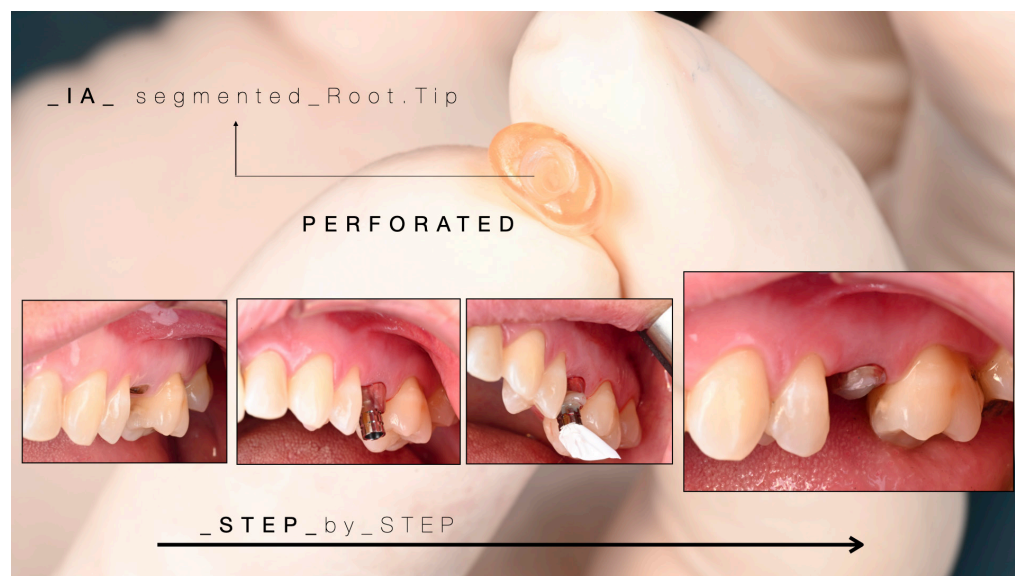


Figura 13. Procedimiento clínico paso a paso de la recapturación del resto radicular segmentado mediante IA e impreso en 3D, utilizado como pilar de cicatrización personalizado. Primero se perforó el centro del resto radicular con una fresa de turbina a alta velocidad; luego se colocó sobre el pilar provisional, se tapó la chimenea con teflón y se recapturó con *composite* fluido.

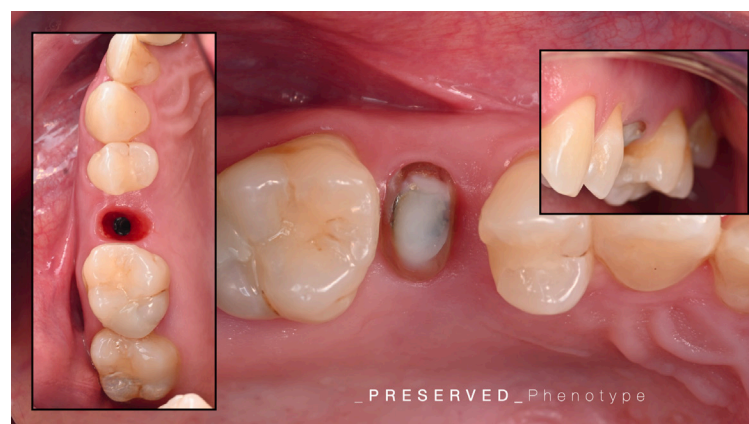


Figura 14. Situación clínica de 8 a 12 semanas tras la colocación del implante. Se aprecia que el colapso de los tejidos es nulo o mínimo, tanto en anchura como en altura.

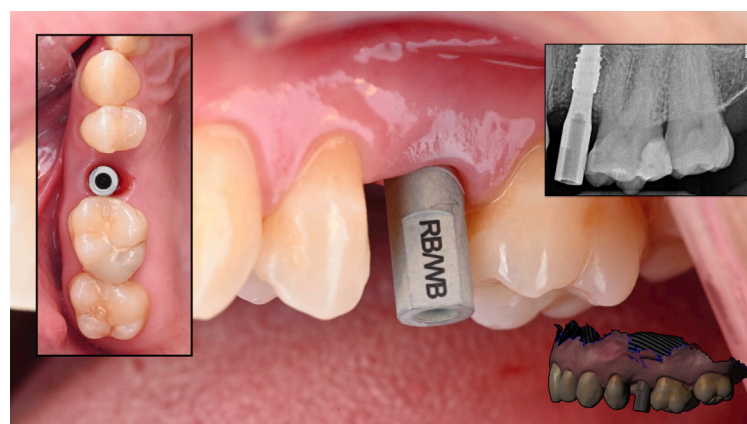


Figura 15. Se tomaron impresiones digitales para la fabricación de la corona implanto-soportada definitiva. Se verificó radiográficamente el asentamiento del *scanbody* en el implante. En la vista oclusal se observa que el implante está desplazado distalmente, y no centrado en el tramo edéntulo correspondiente a la posición original del resto radicular. Esto permitió reutilizar el mismo diente impreso en 3D como provisional y conservar los márgenes gingivales.

11. Restauración definitiva atornillada

Se fabricó una restauración de zirconio monolítico, cementada sobre una Ti-Base en laboratorio, cuyo diseño fue planificado desde el inicio para respetar los principios BR. La restauración coincidió con el perfil de emergencia generado por el pilar provisional (Souza y cols. 2018) y fue atornillada tras verificar su asentamiento clínico y radiográfico (Figuras 16 y 17).

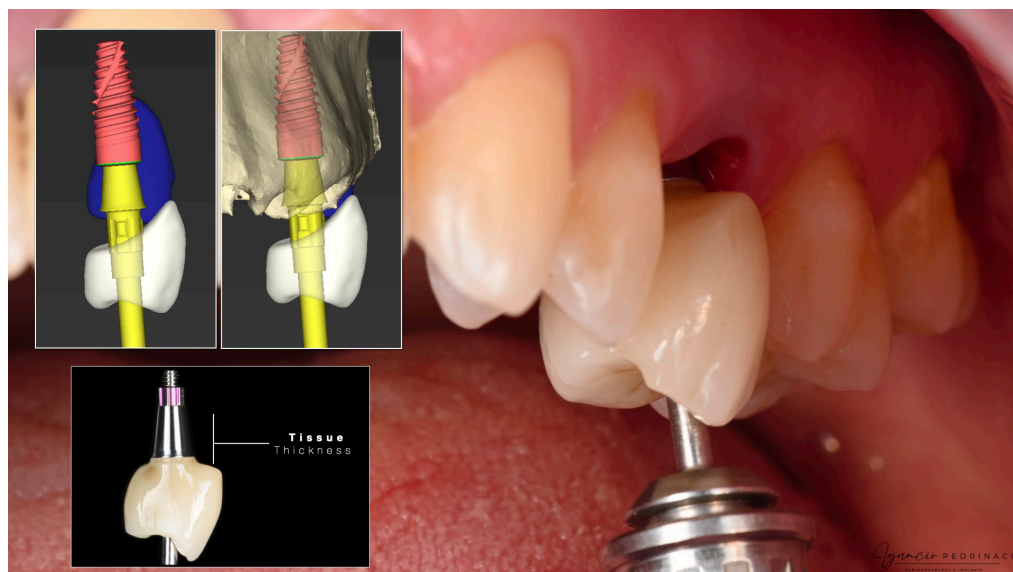


Figura 16. Imagen clínica del día de la colocación de la restauración definitiva. Comparativa con imágenes digitales de la planificación BR del implante, selección del pilar y perfil de emergencia.

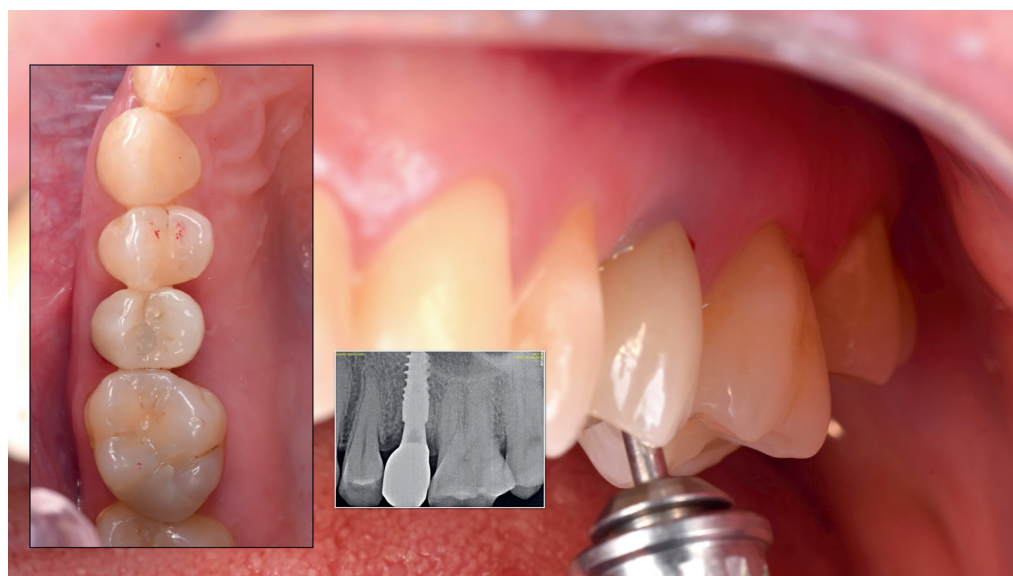


Figura 17. Atornillado de la restauración monolítica en zirconio sobre un Variobase con altura planificada previamente a la colocación del implante. Nótese la preservación de los tejidos.

f. Pronóstico

A los 18 meses de seguimiento se observa una preservación de los márgenes gingivales en altura y anchura de la cresta alveolar. Igualmente, se aprecia una preservación de la mucosa queratinizada alrededor de la restauración implanto-soportada. La imagen radiográfica muestra ausencia de pérdida ósea más allá de la plataforma del implante, picos óseos interproximales mantenidos e imágenes compatibles con éxito del implante. Desde el punto de vista funcional, se verificó la correcta higiene del área mediante el uso de una sonda plástica, lo que confirmó que el diseño del perfil de emergencia resultaba favorable para el mantenimiento a largo plazo y facilitaba el control del *biofilm* por parte de la paciente (Figura 18).

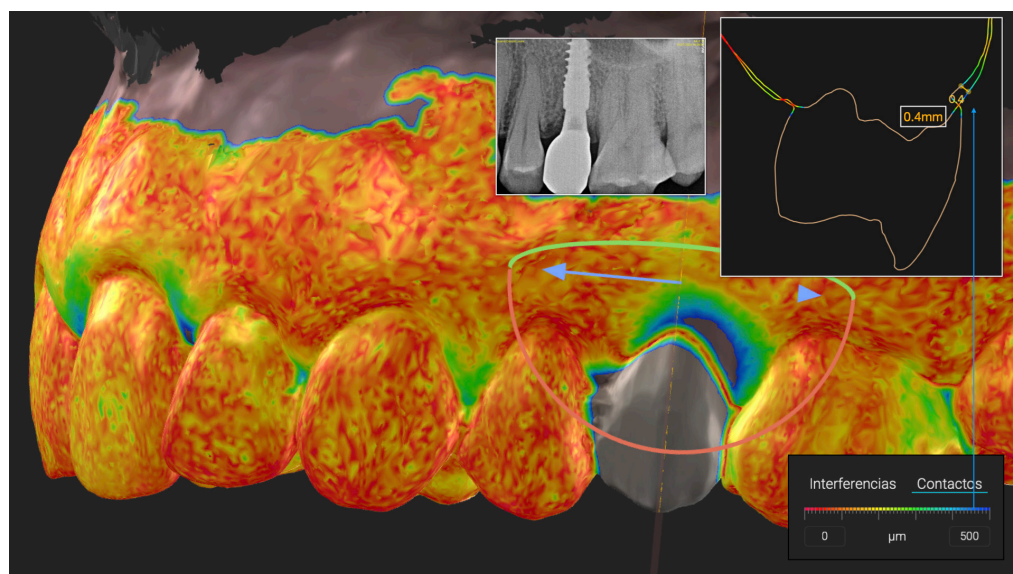


Figura 18.

Seguimiento de éxito a los 18 meses. Control de calidad en SmileCloud® de la preservación del fenotipo de la paciente. Límite establecido en 500 micras (color azul). La flecha indica zona de mayor colapso, correspondiente a 0,4 mm.

g. Mantenimiento recomendado

La paciente fue incorporada a un programa de mantenimiento periodontal estructurado con revisiones cada 12 meses, enfocado en el control de placa bacteriana y la detección precoz de signos clínicos compatibles con enfermedades periimplantarias.

Como parte del protocolo de seguimiento, se indicó la realización de radiografías periapicales anuales para monitorizar la estabilidad ósea marginal periimplantaria. Asimismo, se reforzó la importancia del control mecánico y químico del *biofilm* mediante instrucciones personalizadas de higiene oral.

DISCUSIÓN

ESTE CASO CLÍNICO EJEMPLIFICA UNA APLICACIÓN AVANZADA de la tecnología digital y la impresión 3D en implantología contemporánea, superando su uso tradicional limitado a la fabricación de férulas quirúrgicas. En particular, se destaca la creación de pilares de cicatrización personalizados mediante segmentación virtual asistida por IA, lo que permite integrar de forma eficiente la planificación digital con la ejecución clínica.

Los avances en la comprensión del proceso fisiológico posextracción (Araújo y Lindhe 2005) han enfatizado la importancia de aplicar técnicas de preservación alveolar que minimicen la pérdida de tejidos y reduzcan la necesidad de procedimientos regenerativos adicionales para restablecer condiciones ideales para la colocación de implantes (Couso-Queiruga y cols. 2022).

En este contexto, el uso de pilares de cicatrización personalizados —SSA (Finelle y Lee 2017)— se ha descrito previamente, tanto en flujos analógicos como digitales (Finelle y cols. 2021).

De hecho, en la última década, varias publicaciones han destacado los beneficios del uso de SSA para establecer una barrera mecánicamente estable entre el entorno oral y el sitio posextracción (Alexopoulou y cols. 2021). El enfoque SSA tiene como objetivo preservar el contorno transgingival y sostener los tejidos blandos marginales inmediatamente después de la extracción dental mediante el uso de un pilar de cicatrización individualizado. Gracias a su cierre íntimo y no traumático, el SSA mantiene la integridad del coágulo sanguíneo alveolar, previene el colapso inmediato de los tejidos y retiene las partículas de biomaterial dentro del alvéolo. El protocolo SSA extiende las ventajas biológicas y mecánicas de la provisionalización sobre implantes a las zonas posteriores, mitigando los inconvenientes asociados a las coronas provisionales, como la carga oclusal en esta región.

Aunque los protocolos de tratamiento acelerado y las técnicas de preservación estética están bien documentados para la zona anterior (Belser y cols. 1998; Gamborena y cols. 2021), los enfoques comparables para los sectores posteriores siguen siendo escasos.

No obstante, el creciente interés clínico por los protocolos SSA refleja una atención creciente dentro de la comunidad odontológica, impulsada en parte por la digitalización generalizada de los flujos de trabajo clínicos. Los avances en tecnologías *in situ* como la impresión 3D y el fresado están a la vanguardia de esta evolución de los protocolos SSA, mejorando la previsibilidad, la eficiencia, la rentabilidad y la experiencia del paciente al permitir la producción local de componentes quirúrgicos y protéticos sin necesidad de recurrir a laboratorios externos. Sin embargo, su utilización se ve potenciada por la creciente disponibilidad de impresoras 3D en entornos clínicos, lo que permite fabricar dispositivos quirúrgicos y protéticos de forma interna, rápida, económica y sin necesidad de depender de laboratorios externos.

La incorporación de IA en la segmentación de archivos radiológicos ha simplificado procesos tradicionalmente complejos, permitiendo una planificación más precisa y predecible. Adicionalmente, la impresión simultánea de la férula quirúrgica y del pilar de cicatrización en una misma resina biocompatible y autoclavable optimiza tiempos clínicos y costes, sin comprometer la seguridad ni la funcionalidad del tratamiento.

Este caso en particular marcó el inicio del desarrollo y perfeccionamiento de esta técnica en la práctica clínica de los autores. En casos más recientes, se ha logrado modificar digitalmente el diente o resto radicular para minimizar el ajuste manual necesario durante la cirugía, incrementando la precisión y la eficiencia del procedimiento.

En el presente caso clínico, se produjo una réplica completa de la anatomía original de la raíz alveolar; sin embargo, es fundamental destacar que, para el diseño del SSA, la réplica anatómica debe considerar únicamente la porción más cervical del perfil transmucoso, ya que esta determina el contorno de emergencia en armonía con la anatomía natural. Para la porción más profunda, el diseño fue intencionadamente modificado de acuerdo con la literatura (Gómez-Meda y cols. 2021; González-Martín y cols. 2020), que aboga por un perfil más estrecho y cóncavo con el fin de crear un espacio adecuado para el crecimiento y la regeneración de los tejidos blandos. En otras palabras, mientras que los aspectos cervical y coronal del SSA replican la forma anatómica verdadera de la raíz para dar soporte a los tejidos blandos marginales, la porción apical dentro del trayecto transmucoso adopta un perfil de emergencia estrecho y no anatómico, el cual debe estar relacionado con la selección de la Ti-Base.

No obstante, deben considerarse ciertas limitaciones: 1) la segmentación asistida por IA puede subestimar ligeramente el tamaño real de las estructuras anatómicas (Pedrinaci y cols. 2025); por lo tanto, se recomienda aumentar en aproximadamente un 5 % el volumen del modelo impreso para mejorar su adaptación clínica; 2) desviaciones e imprecisiones inherentes a la cirugía guiada; y 3) biocompatibilidad subóptima de los *composites* fluidos utilizados en los procedimientos de recogida intraoral, así como el tiempo clínico adicional requerido para la toma y el acabado del SSA en el sillón. Sin embargo, dada la rápida evolución de los biomateriales imprimibles y el creciente rendimiento de las tecnologías de impresión 3D en consulta es concebible que los protocolos futuros incorporen cada vez más la impresión directa en sillón de SSA personalizados. Tales avances podrían optimizar aún más el flujo de trabajo, mejorar la precisión y reducir el tiempo clínico, lo que facilitaría la adopción rutinaria y ampliada de este prometedor enfoque.

CONCLUSIÓN

La integración de la planificación digital, la IA y la impresión 3D representa una evolución significativa en la implantología contemporánea. Este caso demuestra cómo el uso de pilares de cicatrización personalizados, diseñados y fabricados en clínica mediante impresión 3D permite preservar de forma predecible los tejidos periimplantarios y optimizar tanto la función como la estética. Esta estrategia, basada en principios BR, ofrece una alternativa mínimamente invasiva, reproducible y centrada en el paciente, con potencial para convertirse en un estándar clínico en tratamientos implantológicos modernos.

RELEVANCIA CLÍNICA

LA PLANIFICACIÓN DIGITAL Y LA IMPRESIÓN 3D se han consolidado como herramientas clave en la implantología contemporánea, al permitir procedimientos más precisos, menos invasivos y con mejores resultados a largo plazo. Este caso clínico demuestra cómo, mediante el uso de IA y *software* especializado, es posible aplicar conceptos BR de forma eficiente y predecible. La impresión 3D no solo materializa la planificación virtual, sino que amplía sus aplicaciones más allá de las férulas quirúrgicas, permitiendo fabricar pilares de cicatrización personalizados y otras soluciones adaptadas a cada paciente. Esta tecnología ofrece un enfoque clínico actual, rentable y altamente personalizado, alineado con los estándares estéticos y funcionales de la odontología contemporánea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexopoulou M, Lambert F, Knafo B, Popelut A, Vandenberghe B, Finelle G. (2021) Immediate implant in the posterior region combined with alveolar ridge preservation and sealing socket abutment: A retrospective 3D radiographic analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* **23**, 61-72.
- Araújo MG, Lindhe J. (2005) Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *Journal of Clinical Periodontology* **32**, 212-218.
- Ávila-Ortiz G, González-Martín O, Couso-Queiruga E, Wang HL. (2020) The peri-implant phenotype. *Journal of Periodontology* **91**, 283-288.
- Belser UC, Buser D, Hess D, Schmid B, Bernard JP, Lang NP. (1998) Aesthetic implant restorations in partially edentulous patients—a critical appraisal. *Periodontology* **2000** **17**, 132-150.
- Couso-Queiruga E, Mansouri CJ, Alade AA, Allareddy TV, Galindo-Moreno P, Ávila-Ortiz G. (2022) Alveolar ridge preservation reduces the need for ancillary bone augmentation in the context of implant therapy. *Journal of Periodontology* **93**, 847-856.
- Finelle G, Lee SJ. (2017) Guided immediate implant placement with wound closure by computer-aided design/computer-assisted manufacture sealing socket abutment: Case report. *The International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* **32**, e63-e67.
- Finelle G, Popelut A, Knafo B, Martín IS. (2021) Sealing Socket Abutments (SSAs) in molar immediate implants with a digitalized CAD/CAM Protocol: Soft tissue contour changes and radiographic outcomes after 2 years. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry* **41**, 235-244.
- Gallucci GO, Hamilton A, Zhou W, Buser D, Chen S. (2018) Implant placement and loading protocols in partially edentulous patients: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research* **29** Suppl 16, S106-S134.
- Gamborena I, Sasaki Y, Blatz MB. (2021) Predictable immediate implant placement and restoration in the esthetic zone. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* **33**, 158-172.
- Gomez-Meda R, Esquivel J, Blatz MB. (2021) The esthetic biological contour concept for implant restoration emergence profile design. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* **33**, 173-184.
- González-Martín O, Lee E, Weisgold A, Veltri M, Su H. (2020) Contour management of implant restorations for optimal emergence profiles: Guidelines for immediate and delayed provisional restorations. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry* **40**, 61-70.
- González-Martín O, Solano-Hernández B, Torres Muñoz A, González-Martín S, Ávila-Ortiz G. (2020) Orthodontic extrusion: Guidelines for contemporary clinical practice. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry* **40**, 667-676.
- Januário AL, Barriviera M, Duarte WR. (2008) Soft tissue cone-beam computed tomography: A novel method for the measurement of gingival tissue and the dimensions of the dentogingival unit. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* **20**, 366-373; discussion 374.
- Levine RA, Dias DR, Wang P, Araújo MG. (2022) Effect of the buccal gap width following immediate implant placement on the buccal bone wall: A retrospective cone-beam computed tomography analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* **24**, 403-413.
- Markovic J, Peña-Cardelles JF, Pedrinaci I, Hamilton A, Gallucci GO, Lanis A. (2024) Considerations for predictable outcomes in static computer-aided implant surgery in the esthetic zone. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* **36**, 207-219.
- Pedrinaci I, Hamilton A, Lanis A, Sanz M, Gallucci GO. (2024) The bio-restorative concept for implant-supported restorations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* **36**, 1516-1527.
- Pedrinaci I, Nasser A, Calatrava J, Couso-Queiruga E, Giannobile WV, Gallucci GO, Sanz M. (2025) Accuracy and efficiency of artificial intelligence and manual virtual segmentation for generation of 3D printed tooth replicas. *International Journal of Computerized Dentistry* **0**.
- Souza AB, Alshihri A, Kämmerer PW, Araújo MG, Gallucci GO. (2018) Histological and micro-CT analysis of peri-implant soft and hard tissue healing on implants with different healing abutments configurations. *Clinical Oral Implants Research* **29**, 1007-1015.