Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial
Publicación Oficial de la SECOM CyC Sociedad Española de Cirugía Oral y Maxilofacial y de Cabeza y Cuello

Artículo Aceptado para su pre-publicación / Article Accepted for pre-publication

Título / Title:
Regeneración ósea guiada por la prótesis: serie de casos y revisión de la literatura / Prosthetically Guided Bone Regeneration: Case Series and Review of the Literature

Autores / Authors:
Helena Sánchez Ortega, Javier Herce López, Guillermo Martínez Lozano, Alvaro Tofé Povedano, Pablo Redondo Parejo, José Luis López-Cedrún Cembranos

DOI: 10.20986/recom.2026.1801/2026

Instrucciones de citación para el artículo / Citation instructions for the article:
Sánchez Ortega Helena, Herce López Javier, Martínez Lozano Guillermo, Tofé Povedano Alvaro, Redondo Parejo Pablo, López-Cedrún Cembranos José Luis. Regeneración ósea guiada por la prótesis: serie de casos y revisión de la literatura / Prosthetically Guided Bone Regeneration: Case Series and Review of the Literature. j.maxilo 2026. doi: 10.20986/recom.2026.1801/2026.

INSPIRA NETWORK

Este es un archivo PDF de un manuscrito inédito que ha sido aceptado para su publicación en la *Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial*. Como un servicio a nuestros clientes estamos proporcionando esta primera versión del manuscrito en estado de prepublicación. El manuscrito será sometido a la corrección de estilo final, composición y revisión de la prueba resultante antes de que se publique en su forma final. Tenga en cuenta que durante el proceso de producción se pueden dar errores, lo que podría afectar el contenido final. El copyright y todos los derechos legales que se aplican al artículo pertenecen a la *Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial*.

REGENERACIÓN ÓSEA GUIADA POR LA PRÓTESIS: SERIE DE CASOS Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

PROSTHETICALLY GUIDED BONE REGENERATION: CASE SERIES AND REVIEW OF THE LITERATURE

Helena Sánchez Ortega[1], Javier Herce López[2], Guillermo Martínez Lozano[3], Álvaro Tofé Povedano[4], Pablo Redondo Parejo[4] y José Luis López-Cedrún Cembranos[1]

[1]Servicio de Cirugía Oral y Maxilofacial. Complejo Hospitalario Universitario A Coruña, España. [2]Servicio de Cirugía Oral y Maxilofacial. Clínica Demax. Sevilla, España. [3]Servicio de Cirugía Oral y Maxilofacial. Complejo Hospitalario de Vigo, España. [4]Servicio de Cirugía Oral y Maxilofacial. Hospital Universitario Puerta del Mar. Cádiz, España

CORRESPONDENCIA:
Helena Sánchez Ortega
helenaortegandk@gmail.com

Recibido: 16-07-2026
Aceptado: 15-11-2026

Prepublicado

RESUMEN

Introducción: La regeneración ósea guiada (ROG) se utiliza para reconstruir defectos alveolares complejos en pacientes que requieren rehabilitación implantológica. Durante las últimas décadas, la incorporación de nuevas técnicas quirúrgicas, biomateriales y herramientas digitales ha permitido mejorar significativamente la predictibilidad de los procedimientos reconstructivos. La planificación protésicamente guiada, basada en la integración de CBCT, escaneado intraoral y *software* de planificación digital, permite planificar la reconstrucción a partir de la rehabilitación protésica prevista.

Objetivo: Revisar la literatura disponible sobre reconstrucción guiada por la prótesis y presentar una serie de cuatro casos clínicos tratados mediante planificación digital

protésicamente guiada, regeneración ósea con hueso autólogo y posterior rehabilitación implantológica guiada.

Material y métodos: Se presenta una serie de cuatro pacientes con defectos alveolares complejos secundarios a periimplantitis avanzada, atrofia mandibular severa y enfermedad periodontal severa. Todos los casos fueron planificados mediante CBCT, escaneado intraoral y encerado digital utilizando el *software* de planificación RealGUIDE®. La reconstrucción se realizó mediante regeneración ósea guiada con hueso autólogo obtenido de zonas adyacentes al defecto, empleando membranas de titanio personalizadas. La reentrada para colocar implantes con cirugía guiada se realizó a los cuatro meses y la rehabilitación protésica definitiva se difirió también 4 meses.

Resultados: En los cuatro casos, el control radiológico mediante CBCT mostró una ganancia ósea vertical de 7,75 ± 2,27 mm de media (DS 2,27 mm Rango 5,4-10,2 mm) y horizontal de media7,40 mm (DS 0,82 Rango 6,2-8,0). En todos los casos fue suficiente para colocar los implantes según la planificación previa. A nivel clínico no se registraron incidencias en el seguimiento y en los 4 casos pudieron colocar los implantes a los 4 meses de la cirugía. En todos los casos se hizo carga diferida con colocación de prótesis definitiva a los 4 meses de la cirugía de implantes. No se registraron complicaciones durante el seguimiento disponible.

Conclusiones: En esta serie de cuatro casos, la planificación protésicamente guiada permitió definir el objetivo reconstructivo y diseñar a medida la malla para obtener el volumen óseo suficiente y en una posición tridimensionalmente adecuada, que posibilitó la colocación guiada de los implantes. El tamaño muestral y el seguimiento limitado no permiten establecer conclusiones sobre precisión volumétrica, superioridad técnica o estabilidad a largo plazo.

Palabras clave: Regeneración ósea guiada, planificación protésicamente guiada, CAD-CAM, cirugía guiada, hueso autólogo, membrana de titanio, reconstrucción alveolar, implantes dentales.

ABSTRACT

Prepublicado

Introduction: Guided bone regeneration (GBR) is used to reconstruct complex alveolar defects in patients requiring implant-supported rehabilitation. Over the last few decades, the incorporation of new surgical techniques, biomaterials, and digital tools has significantly improved the predictability of reconstructive procedures. Prosthetically driven planning—based on the integration of CBCT, intraoral scanning, and digital planning software—allows for the reconstruction to be planned according to the intended prosthetic rehabilitation.

Objective: To review the available literature on prosthetically driven reconstruction and present a series of four clinical cases managed through digital, prosthetically driven planning, bone regeneration using autologous bone, and subsequent guided implant rehabilitation.

Material and methods: A series of four patients with complex alveolar defects—resulting from advanced peri-implantitis, severe mandibular atrophy, or severe periodontal disease—is presented. All cases were planned using CBCT, intraoral scanning, and a digital wax-up, utilizing "Real Guide" planning software. Reconstruction was performed via guided bone regeneration using autologous bone harvested from areas adjacent to the defect, with the aid of custom-made titanium membranes. A second-stage surgery for implant placement—conducted via guided surgery—was performed at four months, and the definitive prosthetic rehabilitation was also deferred for four months.

Results: In all four cases, radiological assessment via CBCT showed a mean vertical bone gain of 7.75 ± 2.27 mm (SD 2.27 mm; range: 5.4-10.2 mm) and a mean horizontal bone gain of 7.40 mm (SD 0.82; range: 6.2-8.0 mm). In every instance, the bone gain was sufficient to allow for implant placement in accordance with the initial plan. Clinically, no complications were recorded during the follow-up period, and in all four cases, it was possible to place the implants four months after the initial surgery. In all cases, delayed loading was performed, with the definitive prosthesis placed 4 months after the implant surgery. No complications were recorded during the available follow-up period.

Conclusions: In this series of four cases, prosthetically guided planning made it possible to define the reconstructive objective and custom-design a mesh to achieve sufficient bone volume in an appropriate three-dimensional position, which facilitated the guided placement of the implants. The sample size and limited follow-up period do not allow

Prepublicado

for conclusions to be drawn regarding volumetric accuracy, technical superiority, or long-term stability.

Keywords: guided bone regeneration, prosthetically guided planning, CAD/CAM, guided implant surgery, autogenous bone, customized titanium membrane, alveolar reconstruction, dental implants.

INTRODUCCIÓN

La rehabilitación protésica de pacientes con defectos alveolares tridimensionales sigue siendo compleja debido a las limitaciones anatómicas que condicionan la colocación de implantes. La pérdida ósea secundaria a enfermedad periodontal avanzada, periimplantitis, traumatismos o edentulismo de larga evolución puede comprometer significativamente la disponibilidad de tejido óseo, dificultando la colocación de implantes en una posición tridimensional protésicamente adecuada.

Tradicionalmente, las reconstrucciones mediante injertos autólogos en bloque han sido consideradas el tratamiento de referencia para la regeneración de defectos horizontales y verticales complejos. Entre ellas, la técnica descrita por Khoury ha demostrado resultados clínicos favorables tanto en aumentos horizontales como verticales, gracias al empleo de corticales autólogas que actúan como un encofrado biológico para la regeneración ósea[1,2]. Los resultados clínicos a largo plazo han consolidado esta técnica como una de las principales alternativas reconstructivas en implantología avanzada[1,2].

Sin embargo, estas técnicas presentan limitaciones relevantes, entre las que destacan la necesidad de áreas donantes adicionales, el incremento de la morbilidad quirúrgica, la prolongación del tiempo operatorio y una considerable sensibilidad técnica[1,2].

Durante la última década, la incorporación del flujo digital a la cirugía reconstructiva ha permitido modificar sustancialmente la forma de abordar estos defectos. Desde la introducción de la tecnología CAD-CAM[3] hasta el desarrollo de sistemas avanzados de planificación tridimensional y cirugía guiada[4,5], ha sido posible diseñar la reconstrucción a partir del resultado protésico final deseado.

Este concepto de planificación inversa o *backward planning* implica que la posición tridimensional ideal de la futura restauración determina inicialmente la posición de los

Prepublicado

implantes y, en consecuencia, el volumen óseo necesario para soportarlos. La reconstrucción deja así de diseñarse exclusivamente en función del defecto existente para pasar a planificarse según las necesidades funcionales y estéticas de la rehabilitación definitiva.

La aparición de membranas de titanio personalizadas y tecnologías CAD-CAM ha permitido trasladar este concepto a la práctica clínica diaria. Diversos autores han demostrado que las membranas personalizadas han mostrado resultados favorables en la reconstrucción de defectos alveolares complejos[6-9].

El objetivo de este trabajo es revisar la literatura disponible sobre reconstrucción guiada por la prótesis y presentar una serie de cuatro casos clínicos tratados mediante planificación digital inversa, regeneración ósea con membrana de titanio customizada y rehabilitación implantológica guiada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión narrativa de la literatura junto con la presentación de una serie de cuatro casos clínicos consecutivos tratados en nuestro servicio.

Para la revisión narrativa de la literatura se realizó una búsqueda bibliográfica en PubMed/MEDLINE para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 12 de octubre de 2026, complementada con referencias relevantes identificadas a partir de la bibliografía. Se combinaron los términos libres «titanium mesh», «customized titanium mesh», «CAD/CAM titanium mesh», «prosthetically guided», «prosthetically driven» y «backward planning» con «guided bone regeneration», «alveolar ridge augmentation», «bone augmentation» y «dental implant», mediante los operadores booleanos OR dentro de cada grupo y AND entre grupos, restringiendo la búsqueda a título y resumen (Title/Abstract). Se priorizaron estudios clínicos originales sobre regeneración alveolar y planificación reconstructiva, y se utilizaron revisiones sistemáticas y metaanálisis como fuentes de contextualización. Los resultados se sintetizaron cualitativamente, sin agregar poblaciones potencialmente solapadas.

Se incluyeron pacientes con defectos óseos alveolares complejos que requerían regeneración ósea previa a la colocación de implantes dentales. Los casos correspondían a diferentes escenarios clínicos, incluyendo periimplantitis avanzada, atrofia alveolar

Prepublicado

grave y pérdida ósea secundaria a enfermedad periodontal, seleccionándose por tener defectos combinados con componente vertical y horizontal.

En todos los pacientes se llevó a cabo un protocolo de planificación protésicamente guiada basado en tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), escaneado intraoral y encerado diagnóstico digital mediante el *software* **RealGuide®** (3DIEMME, Italia). A partir de esta planificación tridimensional se determinó la posición ideal de las futuras restauraciones y el volumen exacto de regeneración necesario para permitir la colocación de los implantes en una situación protésicamente favorable.

En los casos tratados mediante membranas de titanio conformadas manualmente, se realizó la impresión tridimensional del modelo anatómico utilizando una impresora Form 3B® (Formlabs, Somerville, MA, EE. UU.), lo que permitió adaptar previamente la membrana de titanio al defecto antes del procedimiento quirúrgico. En el caso de la reconstrucción mediante membrana completamente personalizada, el diseño se realizó mediante flujo digital CAD-CAM y fabricación aditiva por sinterizado selectivo láser (SLM) utilizando la impresora **EOS M290**, obteniéndose una estructura individualizada adaptada a la anatomía específica del paciente.

Todas las reconstrucciones se realizaron mediante regeneración ósea guiada utilizando exclusivamente hueso autólogo particulado obtenido de zonas adyacentes al defecto, evitando la necesidad de un segundo campo quirúrgico cuando las características anatómicas lo permitieron. La reentrada se efectuó a los cuatro meses de la reconstrucción, procediéndose a la retirada de la membrana y a la colocación de los implantes mediante cirugía guiada según la planificación protésica previamente establecida. Todos los pacientes fueron seguidos clínica y radiográficamente durante un periodo mínimo de seis meses.

La variable principal fue la viabilidad de colocar los implantes según la posición tridimensional protésicamente planificada. Se evaluó cualitativamente mediante CBCT la disponibilidad de hueso regenerado, realizando mediciones en la zona del defecto 3D y anotando en cada caso la longitud de la ganancia vertical y horizontal según la diferencia de densidad radiológica observada entre el hueso residual y el hueso regenerado. Como variables secundarias se recogieron las complicaciones reconstructivas e implantoprotésicas, la finalización de la rehabilitación protésica y el seguimiento clínico-radiográfico.

Prepublicado

RESULTADOS

Se presenta una serie de 4 casos planificados mediante CBCT, escaneado intraoral y encerado digital utilizando el *software* RealGUIDE®.

La posición tridimensional ideal de las futuras restauraciones se estableció previamente al tratamiento quirúrgico. A partir de dicha planificación se determinó el volumen exacto de tejido óseo necesario para soportar los implantes en una posición biomecánica y protésicamente favorable.

Las membranas de titanio fueron confeccionadas mediante dos estrategias diferentes:

- Adaptación manual sobre modelos tridimensionales impresos de membranas de titanio seriadas de espesor 0,4 mm con la impresora Form 3B® (Formlabs).
- Diseño personalizado mediante tecnología CAD-CAM y sinterizado láser con espesor de 0,3 mm con la impresora EOS M290.

En los 4 casos la colocación de la membrana de titanio customizada se realizó bajo anestesia local. Se usaron tornillos de osteosíntesis de 1,5 mm de diámetro y diferentes longitudes para la fijación de las membranas al hueso. En todos los casos se empleó exclusivamente hueso autólogo particulado obtenido de zonas adyacentes al propio defecto.

No se registraron complicaciones en el posoperatorio inmediato ni tardío.

A los cuatro meses de la regeneración se retiraron las membranas y se colocaron los implantes mediante cirugía guiada planificada con RealGUIDE® (3DIEMME, Italia). En los casos 1 y 4 se utilizaron implantes *tissue-level* Iceberg (Avinent), y en los casos 2 y 3, implantes *tissue-level* iBone (ETK).

A los 4 meses se realizó la segunda cirugía de implantes y toma de medidas para la colocación de las prótesis definitivas en circonio monolítico en los 4 casos. El seguimiento medio de los casos fue de 19,9 meses (rango: 11,7-27,8).

La búsqueda bibliográfica identificó 293 registros en PubMed/MEDLINE, a los que se añadió una publicación complementaria relevante de Cucchi y cols. (2020). Tras la priorización temática se elaboró una selección de estudios clínicos originales y revisiones para la síntesis cualitativa. La heterogeneidad de los defectos, las técnicas

Prepublicado

reconstructivas y los periodos de seguimiento desaconsejó una combinación cuantitativa de resultados.

SERIE DE CASOS

Caso 1

Varón remitido por periimplantitis avanzada en el segundo cuadrante, asociada a una pérdida ósea periimplantaria grave que comprometía la viabilidad de la rehabilitación implantosoportada existente. El estudio radiográfico mediante CBCT evidenció un defecto tridimensional complejo que hacía previsible la necesidad de una reconstrucción ósea previa a una nueva rehabilitación implantológica (Figura 1).

Siguiendo el protocolo de reconstrucción guiada por la prótesis, el primer paso consistió en consensuar con el paciente el tipo de rehabilitación definitiva deseada. A partir de dicha planificación se realizó un encerado diagnóstico digital y una planificación tridimensional protésicamente guiada mediante *software* específico, determinando la posición ideal de las futuras restauraciones y el volumen óseo necesario para soportarlas.

Una vez definidos los objetivos protésicos, se procedió a la explantación de los implantes afectados y a la reconstrucción diferida 2 meses del defecto utilizando hueso autólogo particulado obtenido de zonas adyacentes y una membrana de titanio conformada manualmente sobre un modelo tridimensional previamente impreso.

Tras un periodo de cicatrización de cuatro meses, la reentrada quirúrgica evidenció una adecuada consolidación del injerto y la obtención de un volumen óseo suficiente para permitir la colocación de implantes mediante cirugía guiada en la posición tridimensional previamente planificada (Figuras 2 y 3).

A los 4 meses se hizo la segunda cirugía de implantes y se inició el proceso de toma de medidas para el diseño de la prótesis definitiva (Figura 4). Tras un seguimiento mínimo de seis meses no se registraron complicaciones biológicas ni mecánicas.

Caso 2

Prepublicado

Varón remitido por periimplantitis avanzada en el primer cuadrante maxilar asociada a una pérdida ósea grave y a la necesidad de exodoncia de una pieza dentaria adyacente. El estudio clínico y radiográfico evidenció un defecto tridimensional complejo que comprometía la posibilidad de realizar una nueva rehabilitación implantosoportada en condiciones protésicamente favorables (Figuras 5 y 6).

Siguiendo el protocolo de reconstrucción guiada por la prótesis, se realizó inicialmente un encerado diagnóstico digital y una planificación tridimensional protésicamente guiada mediante *software* específico. Esta planificación permitió determinar tanto la posición ideal de las futuras restauraciones como el volumen exacto de regeneración necesario para soportarlas.

Tras la explantación de los implantes afectados y la exodoncia de la pieza comprometida, se procedió a la impresión tridimensional del defecto planificado. Sobre dicho modelo se conformó previamente una membrana de titanio personalizada de forma manual, permitiendo trasladar gran parte del proceso de adaptación fuera del campo quirúrgico. Esta estrategia facilitó una mejor adaptación de la membrana al defecto, redujo el tiempo operatorio y simplificó el procedimiento reconstructivo. La reconstrucción se realizó mediante regeneración ósea guiada utilizando exclusivamente hueso autólogo particulado obtenido de zonas adyacentes al defecto. La membrana de titanio actuó como estructura de mantenimiento de espacio y permitió reproducir el volumen regenerativo previamente definido durante la planificación digital.

Tras un periodo de cicatrización de cuatro meses, la reentrada quirúrgica evidenció una adecuada consolidación del injerto y la obtención de un volumen óseo suficiente para permitir la colocación de implantes mediante cirugía guiada en la posición tridimensional previamente planificada (Figura 7).

El control radiográfico posterior confirmó la adecuada regeneración del defecto y la correcta ubicación de los implantes respecto al plan protésico inicial (Figura 8). A los 4 meses se realizó la segunda cirugía de implantes y el inicio de la toma de medidas para el diseño de la prótesis definitiva (Figura 9).

No se registraron complicaciones biológicas ni mecánicas durante el seguimiento mínimo de seis meses.

Caso 3

Prepublicado

Mujer con atrofia mandibular bilateral grave que imposibilitaba la colocación de implantes en una posición tridimensional protésicamente adecuada. El estudio clínico y radiográfico mediante CBCT evidenció un déficit óseo horizontal y vertical significativo, incompatible con una rehabilitación implantosoportada convencional (Figura 10).

Siguiendo el protocolo de reconstrucción guiada por la prótesis, se realizó una planificación digital protésicamente guiada mediante encerado diagnóstico virtual y *software* de planificación tridimensional. A partir de esta planificación se determinó el volumen exacto de regeneración necesario para permitir la colocación de los implantes en la posición requerida por la futura rehabilitación (Figura 11).

Dada la complejidad anatómica del caso, se optó por el diseño de una membrana de titanio completamente personalizada mediante tecnología CAD-CAM y fabricación por sinterizado láser. Este sistema permitió obtener una estructura perfectamente adaptada al defecto, incorporando zonas específicas de fijación, evitando estructuras anatómicas críticas y adaptándose al recorrido del nervio alveolar inferior. Asimismo, el diseño personalizado permitió maximizar el espacio regenerativo disponible y reproducir con precisión el volumen previamente definido durante la planificación digital.

La reconstrucción se realizó mediante regeneración ósea guiada utilizando exclusivamente hueso autólogo particulado obtenido de zonas adyacentes al defecto. La adaptación precisa de la membrana permitió una adecuada estabilización del injerto y un mantenimiento predecible del espacio regenerativo durante el periodo de cicatrización.

A los cuatro meses, la reentrada quirúrgica mostró una adecuada consolidación del injerto, observándose la conservación de prácticamente todo el volumen regenerado (Figura 12). Clínicamente se objetivó una corticalización parcial del tejido regenerado, a pesar de haberse empleado exclusivamente hueso autólogo particulado. La regeneración obtenida permitió la colocación de los implantes mediante cirugía guiada en la posición tridimensional previamente planificada (Figura 13).

En este caso se realizó un procedimiento complementario de *relining* durante la reentrada quirúrgica (Figura 14).

Prepublicado

El control clínico y radiográfico posterior mostró una adecuada estabilidad de los tejidos regenerados y de los implantes colocados, sin registrarse complicaciones biológicas ni mecánicas durante el seguimiento (Figuras 15 y 16).

Caso 4

Varón joven con atrofia maxilar localizada en el primer cuadrante secundaria a la ausencia de la pieza 1.6 de larga evolución, asociada además a enfermedad periodontal en las piezas adyacentes. El estudio clínico y radiográfico mediante CBCT evidenció un defecto tridimensional que comprometía la colocación de implantes en una posición protésicamente favorable (Figura 17). Se realizó la exodoncia de las piezas con mal pronóstico y se hizo una CBCT de control al mes para realizar el estudio y la planificación de la rehabilitación protésica implantosoportada (Figura 18).

La planificación digital permitió diseñar una reconstrucción tridimensional mediante regeneración ósea guiada utilizando una membrana de titanio personalizada adaptada sobre un modelo tridimensional previamente impreso (Figura 19). Este enfoque permitió planificar el aumento óseo necesario para la rehabilitación implantológica evitando procedimientos complementarios más invasivos, como la elevación de seno maxilar, al generar el volumen óseo requerido mediante reconstrucción vertical y horizontal del reborde alveolar.

La cirugía consistió en la fijación de la membrana de titanio y el relleno del espacio regenerativo con hueso autólogo particulado obtenido de zonas adyacentes al defecto. La estabilidad de la membrana permitió mantener el espacio regenerativo previamente diseñado durante todo el periodo de cicatrización.

Tras cuatro meses de cicatrización se realizó CBCT de control (Figura 20) y reentrada quirúrgica, observándose una adecuada consolidación del injerto y la obtención del volumen óseo previamente planificado. Se procedió a la retirada de la membrana y a la colocación de los implantes mediante cirugía guiada en la posición tridimensional establecida durante la fase de planificación.

A los 4 meses de la colocación de los implantes se procedió a la segunda cirugía e inicio de la fase de prótesis definitiva (Figuras 21 y 22).

Prepublicado

Durante el seguimiento clínico y radiográfico no se registraron complicaciones biológicas ni mecánicas.

DISCUSIÓN

La literatura reciente demuestra que tanto las técnicas clásicas como los sistemas modernos de regeneración guiada pueden proporcionar resultados favorables cuando son correctamente indicados[1,2,6-14]. Por ello, la pregunta actual no debe centrarse exclusivamente en qué técnica genera más hueso, sino en cuál permite alcanzar de forma más predecible los objetivos protésicos previamente establecidos.

La principal aportación de los casos presentados no radica en una técnica regenerativa concreta, sino en la planificación de la reconstrucción a partir de la posición protésica prevista. Los resultados obtenidos en esta serie coinciden con los descritos por Cucchi y cols., Chiapasco y cols. y De Santis y cols., quienes demostraron que las membranas personalizadas CAD-CAM permiten reconstruir defectos alveolares complejos con una elevada precisión volumétrica y una adecuada estabilidad clínica[6-9].

Asimismo, los estudios comparativos publicados recientemente muestran que diferentes estrategias reconstructivas pueden alcanzar resultados satisfactorios cuando se aplican de forma individualizada[11-13]. Sánchez-Sánchez y cols. compararon la técnica de Khoury con la técnica de Urban para aumentos horizontales, observando resultados favorables para ambas modalidades reconstructivas[11]. Más recientemente, Salem y cols. compararon la técnica de Khoury con membranas reforzadas con titanio en defectos mandibulares atróficos, mientras que De Angelis y cols. evaluaron la regeneración ósea guiada frente a técnicas de *shell* con bloques xenógenos[12,13]. La técnica de Khoury es posiblemente el procedimiento más empleado en regeneración de defectos verticales de los maxilares[1]. Se basa en la obtención de láminas corticales autólogas que actúan como un encofrado biológico capaz de contener hueso particulado autólogo y favorecer la regeneración tridimensional del defecto[1,2]. Los estudios publicados por Khoury y cols. han demostrado resultados predecibles en defectos verticales y horizontales, con estabilidad a largo plazo y elevadas tasas de supervivencia implantaria[1,2]. No obstante, en el maxilar superior, la necesidad de un segundo campo quirúrgico para la obtención de injertos corticales de la región retromolar mandibular supone una clara desventaja

Prepublicado

respecto a las membranas personalizadas, ya que incrementa la complejidad quirúrgica y puede asociarse a una mayor morbilidad postoperatoria[1,2]. Además, las membranas de titanio presentan otras ventajas frente a la técnica de Khoury. No requieren la existencia de dos picos óseos para estabilizar las corticales, lo que facilita su utilización en defectos tridimensionales complejos. Además, su fijación mediante tornillos de osteosíntesis resulta más sencilla y permite controlar con mayor precisión el volumen regenerativo, adaptándolo a la planificación protésicamente guiada. La obtención de hueso autólogo mediante raspado de corticales adyacentes evita la extracción de bloques óseos, reduciendo la morbilidad de la zona donante y minimizando el riesgo de lesión del nervio alveolar inferior. Sin embargo, a diferencia de la técnica de Khoury, las membranas no aportan una cortical autóloga y la cirugía de reentrada puede ser técnicamente más compleja debido a la integración parcial de tejidos blandos en la membrana que hay que retirar, especialmente en la región palatina.

Poli y cols. describieron resultados favorables utilizando membranas de titanio convencionales en defectos alveolares complejos[10]. Posteriormente, el desarrollo de tecnologías CAD-CAM permitió diseñar membranas completamente personalizadas, mejorando la adaptación al defecto y reduciendo el tiempo de modelado intraoperatorio[6-9]. Cucchi y cols. demostraron que las membranas personalizadas permiten obtener resultados clínicos y volumétricos favorables en aumentos verticales complejos, facilitando la reproducción del volumen regenerativo previamente planificado[6,7]. Del mismo modo, Chiapasco y cols. y De Santis y cols. comunicaron resultados clínicos favorables en la reconstrucción de defectos graves mediante sistemas CAD-CAM individualizados[8,9].

Estos trabajos sugieren que no existe una única técnica aplicable a todos los escenarios clínicos y que la selección del procedimiento debe individualizarse en función de las características anatómicas, protésicas y biológicas de cada paciente.

En la literatura clínica, Ciocca y cols. describieron la planificación protésicamente guiada de mallas CAD-CAM en nueve pacientes, con posibilidad de colocación implantaria en todos los sitios, aunque con exposición de malla en seis pacientes[15]. Un metanálisis reciente de 22 estudios (608 pacientes) no identificó diferencias significativas en ganancia vertical ni en exposición entre mallas convencionales y personalizadas; observó mayor ganancia horizontal con las personalizadas, con heterogeneidad entre

Prepublicado

los estudios[16]. Estos resultados obligan a interpretar con cautela la ausencia de complicaciones en nuestra serie de cuatro pacientes.

En el estudio piloto de Cucchi y cols. (2020), con diez pacientes, la ganancia ósea vertical media fue de 4,5 ± 1,8 mm y el volumen regenerado representó aproximadamente el 89 % del planificado. Pellegrino y cols. (2024) evaluaron la precisión de un protocolo de regeneración digital inversa en 16 pacientes y comunicaron una desviación media de 0,487 ± 0,218 mm en el posicionamiento de la malla. Estas mediciones corresponden a las respectivas series publicadas y no fueron realizadas en nuestros cuatro casos[6,17].

Hartmann y cols. (2022) analizaron 21 pacientes y 36 implantes tras regeneración mediante mallas personalizadas, con un seguimiento medio de 5,7 ± 0,38 años y una supervivencia implantaria del 97 %. Se documentaron exposiciones de malla en ocho pacientes (38,1 %) y una asociación significativa entre los antecedentes de periodontitis y la pérdida ósea marginal periimplantaria[18].

En los cuatro casos se utilizó exclusivamente hueso autólogo particulado obtenido de zonas adyacentes al defecto. La elección del hueso autólogo se fundamentó en su reconocido potencial osteogénico, osteoconductivo y osteoinductivo, siendo el único material capaz de aportar simultáneamente células osteogénicas viables, factores de crecimiento y una matriz biológicamente activa[1,2,19,20]. Aunque durante los últimos años se han publicado numerosos trabajos que demuestran resultados favorables utilizando xenoinjertos, aloinjertos o combinaciones de biomateriales en procedimientos de regeneración ósea guiada[13,21,22], el papel del hueso autólogo continúa siendo objeto de especial interés en defectos verticales complejos y reconstrucciones tridimensionales extensas. De hecho, diversos autores siguen considerándolo el material de referencia para este tipo de indicaciones, y estudios recientes como el ensayo clínico aleatorizado publicado por Salem y cols. han puesto de manifiesto que las técnicas basadas exclusivamente en hueso autólogo continúan ofreciendo resultados altamente predecibles y clínicamente competitivos frente a otras alternativas regenerativas contemporáneas[12]. Por este motivo, y dada la magnitud de los defectos tratados en nuestra serie, se optó por una estrategia reconstructiva basada exclusivamente en hueso autólogo.

Por otra parte, en los casos maxilares presentados fue posible evitar sistemáticamente la necesidad de una segunda zona donante, ya que todo el volumen regenerativo se

Prepublicado

obtuvo mediante raspado óseo de áreas adyacentes al propio defecto. Este aspecto puede traducirse en una reducción de la morbilidad quirúrgica, especialmente cuando se compara con procedimientos que requieren la obtención de bloques corticales en regiones anatómicas alejadas del área receptora. Además, la recolección de hueso mediante raspadores óseos permite minimizar la necesidad de osteotomías de la rama mandibular, reduciendo potencialmente el riesgo de complicaciones asociadas a la zona donante, incluida la lesión del nervio alveolar inferior. En este sentido, la combinación de membranas de titanio personalizadas y hueso autólogo particulado local permitió mantener los principios biológicos de la regeneración ósea autóloga evitando procedimientos más invasivos y sin comprometer la capacidad regenerativa observada en la presente serie.

El manejo de la remodelación fisiológica de los injertos autólogos continúa siendo objeto de debate en la literatura. Algunos autores han propuesto la realización de procedimientos de *relining* mediante xenoinjertos y membranas reabsorbibles durante la reentrada quirúrgica con el objetivo de preservar el volumen óseo regenerado a largo plazo[22]. Sin embargo, esta estrategia requiere una nueva elevación de colgajos y la incorporación de biomateriales adicionales, aumentando la complejidad quirúrgica del procedimiento. En nuestra serie, el *relining* quedó reservado exclusivamente para situaciones anatómicas seleccionadas en las que no fue posible colocar el implante infraóseo.

CONCLUSIONES

La planificación protésicamente guiada y la regeneración ósea con mallas de titanio customizadas facilitan la colocación de implantes en una posición tridimensionalmente adecuada en defectos tridimensionales. Teniendo en cuenta las limitaciones de nuestro estudio, será necesario aumentar el tamaño muestral y el seguimiento de los pacientes para saber si los buenos resultados a corto plazo se mantienen estables en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

Prepublicado

1. Khoury F, Hanser T. Three-dimensional vertical alveolar ridge augmentation in the posterior maxilla: a 10-year clinical study. Int J Oral Maxillofac Implants. 2019;34(2):471-80. DOI: 10.11607/jomi.6869.
2. Khoury F, Doliveux R. The bone core technique for the augmentation of limited bony defects: five-year prospective study with a new minimally invasive technique. Int J Periodontics Restorative Dent. 2018;38(2):199-207. DOI: 10.11607/prd.3467.
3. Duret F, Blouin JL, Duret B. CAD-CAM in dentistry. J Am Dent Assoc. 1988;117(6):715-20. DOI: 10.14219/jada.archive.1988.0096.
4. Tahmaseb A, De Clerck R, Wismeijer D. Computer-guided implant placement: 3D planning software, fixed intraoral reference points, and CAD/CAM technology. A case report. Int J Oral Maxillofac Implants. 2009;24(3):541-6.
5. Moon SY, Lee KR, Kim SG, Son MK. Clinical problems of computer-guided implant surgery. Maxillofac Plast Reconstr Surg. 2016;38(1):15. DOI: 10.1186/s40902-016-0063-3.
6. Cucchi A, Bianchi A, Calamai P, Rinaldi L, Mangano F, Vignudelli E, et al. Clinical and volumetric outcomes after vertical ridge augmentation using computer-aided-design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) customized titanium meshes: a pilot study. BMC Oral Health. 2020;20(1):219. DOI: 10.1186/s12903-020-01205-4.
7. Cucchi A, Vignudelli E, Franceschi D, Randellini E, Lizio G, Fiorino A, et al. Vertical and horizontal ridge augmentation using customized CAD/CAM titanium mesh with versus without resorbable membranes. A randomized clinical trial. Clin Oral Implants Res. 2021;32(12):1411-24. DOI: 10.1111/clr.13841.
8. Chiapasco M, Casentini P, Tommasato G, Dellavia C, Del Fabbro M. Customized CAD/CAM titanium meshes for the guided bone regeneration of severe alveolar ridge defects: preliminary results of a retrospective clinical study in humans. Clin Oral Implants Res. 2021;32(4):498-510. DOI: 10.1111/clr.13720.
9. De Santis D, Umberto L, Dario D, Paolo F, Zarantonello M, Alberti C, et al. Custom bone regeneration (CBR): an alternative method of bone augmentation—a case series study. J Clin Med. 2022;11(16):4739. DOI: 10.3390/jcm11164739.

Prepublicado

10. Poli PP, Beretta M, Cicciù M, Maiorana C. Alveolar ridge augmentation with titanium mesh. A retrospective clinical study. Open Dent J. 2014;8:148-58. DOI: 10.2174/1874210601408010148.
11. Sánchez-Sánchez J, Pickert FN, Sánchez-Labrador L, Gf Tresguerres F, Martínez-González JM, Meniz-García C. Horizontal ridge augmentation: a comparison between Khoury and Urban technique. Biology (Basel). 2021;10(8):749. DOI: 10.3390/biology10080749.
12. Salem AS, Abdel-Rahman FH, Shaker AES, El-Farag SAA, El-Kenawy MH. Comparison of Khoury's bone shell technique vs titanium-reinforced polytetrafluoroethylene membrane for 3D-bone augmentation in atrophic posterior mandible: a randomized clinical trial. J Contemp Dent Pract. 2024;25(6):518-26. DOI: 10.5005/jp-journals-10024-3704.
13. De Angelis P, Cavalcanti C, Manicone PF, Liguori MG, Rella E, De Rosa G, et al. A comparison of guided bone regeneration vs. the shell technique using xenogeneic bone blocks in horizontal bone defects: a randomized clinical trial. Dent J (Basel). 2024;12(5):137. DOI: 10.3390/dj12050137.
14. Urban IA, Montero E, Monje A, Sanz-Sánchez I. Effectiveness of vertical ridge augmentation interventions: a systematic review and meta-analysis. J Clin Periodontol. 2019;46 Suppl 21:319-39. DOI: 10.1111/jcpe.13061.
15. Ciocca L, Lizio G, Baldissara P, Sambuco A, Scotti R, Corinaldesi G. Prosthetically CAD-CAM-guided bone augmentation of atrophic jaws using customized titanium mesh: preliminary results of an open prospective study. J Oral Implantol. 2018;44(2):131-7. DOI: 10.1563/aaid-joi-D-17-00125.
16. Ragucci GM, Fernández Augè A, Tresserra Parra A, Elnayef B, Hernández-Alfaro F. Comparison between CAD/CAM titanium mesh vs. conventional titanium mesh in bone regeneration: a systematic review and meta-analysis. Int J Implant Dent. 2025;11(1):55. DOI: 10.1186/s40729-025-00643-5.
17. Pellegrino G, Vignudelli E, Barausse C, Bonifazi L, Renzi T, Tayeb S, et al. Accuracy of semi-occlusive CAD/CAM titanium mesh using the reverse guided bone regeneration digital protocol: a preliminary clinical study. Int J Oral Implantol (Berl). 2024;17(2):175-85.

Prepublicado

18. Hartmann A, Hildebrandt H, Younan Z, Al-Nawas B, Kämmerer PW. Long-term results in three-dimensional, complex bone augmentation procedures with customized titanium meshes. Clin Oral Implants Res. 2022;33(11):1171-81. DOI: 10.1111/clr.14000.
19. Khoury F, Hanser T. Mandibular bone block harvesting from the retromolar region: a 10-year prospective clinical study. Int J Oral Maxillofac Implants. 2015;30(3):688-97. DOI: 10.11607/jomi.4117.
20. Khoury F, Antoun H, Missika P. Bone augmentation in oral implantology. Londres: Quintessence; 2007.
21. Urban IA, Lozada JL, Jovanovic SA, Nagursky H, Nagy K. Vertical ridge augmentation with titanium-reinforced, dense-PTFE membranes and a combination of particulated autogenous bone and anorganic bovine bone-derived mineral: a prospective case series in 19 patients. Int J Oral Maxillofac Implants. 2014;29(1):185-93. DOI: 10.11607/jomi.3346.
22. De Stavola L, Tunkel J. A new approach to maintenance of regenerated autogenous bone volume: delayed relining with xenograft and resorbable membrane. Int J Oral Maxillofac Implants. 2013;28(4):1062-7. DOI: 10.11607/jomi.2726.

Prepublicado

Tabla I. Características y situación implantoprotésica de los cuatro casos.

Caso	Defecto	Sistema / n.º de implantes	Rehabilitación definitiva	Seguimiento (meses)
1	Maxilar izquierdo	Iceberg (Avinent) / 3	Sí	12,7
2	Maxilar derecho	iBone (ETK) / 3	Sí	27,8
3	Mandíbula izquierda	iBone (ETK) / 2	Sí	11,7
4	Maxilar derecho	Iceberg (Avinent) / 2	Sí	27,4

No publicado

Figura 1.

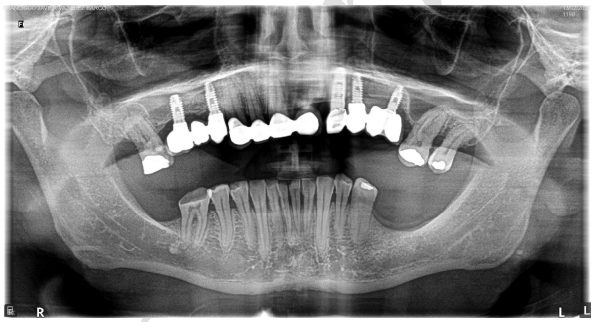


Figura 2.

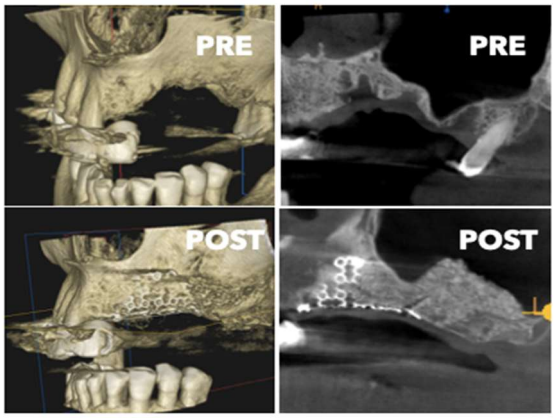


Figura 3.

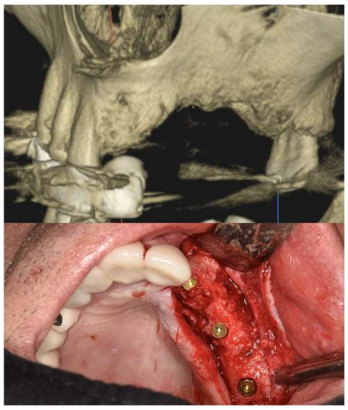


Figura 4.



prepublicado

Figura 5.

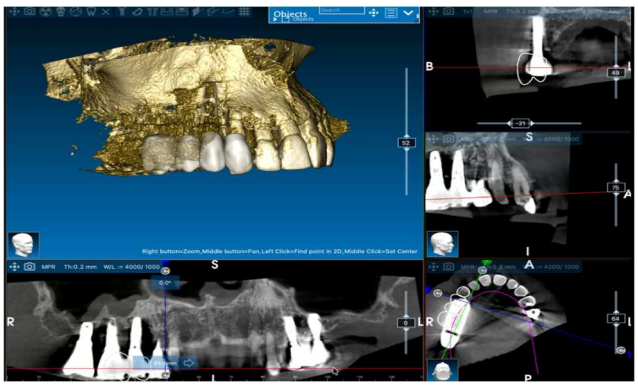


Figura 6.

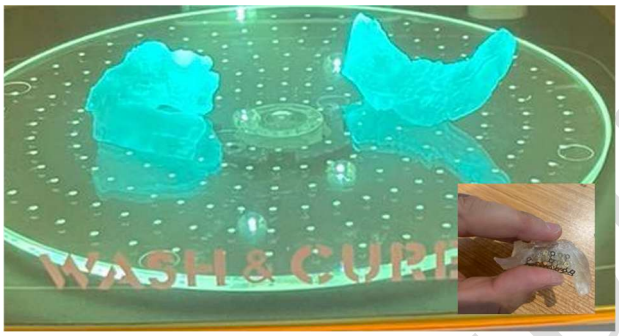


Figura 7.

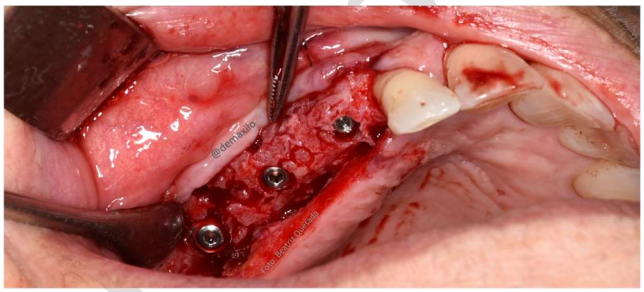
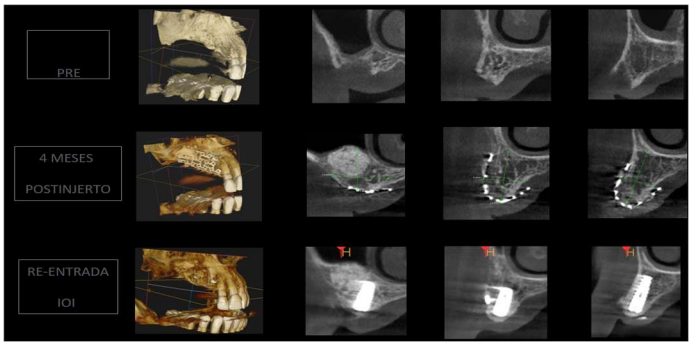


Figura 8.



No publicado

Figura 9.



Figura 10.



Figura 11.

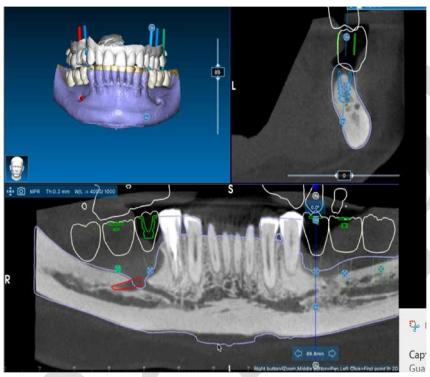
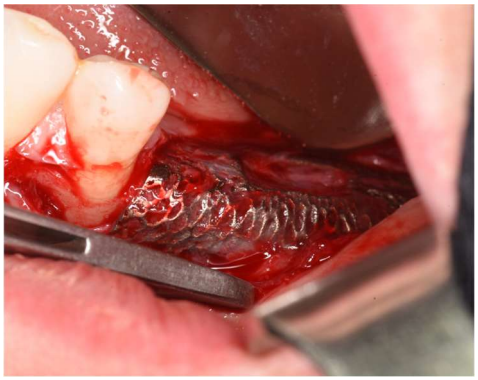


Figura 12.



Publicado

Figura 13.

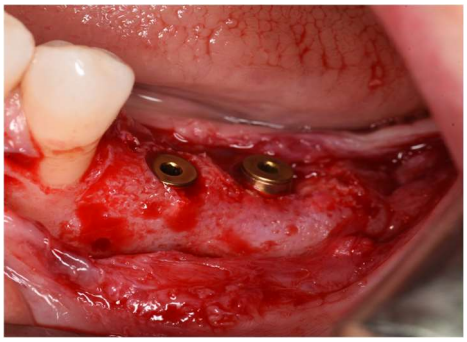
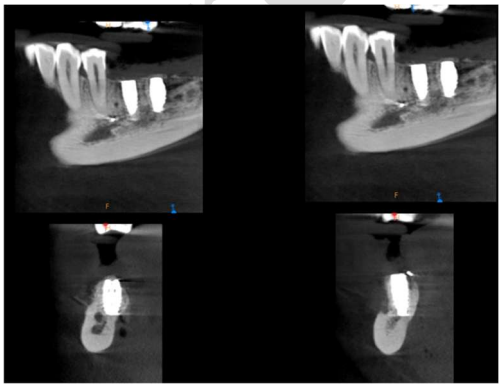


Figura 14.



Figura 15.



republicado

Figura 16.



Figura 17.

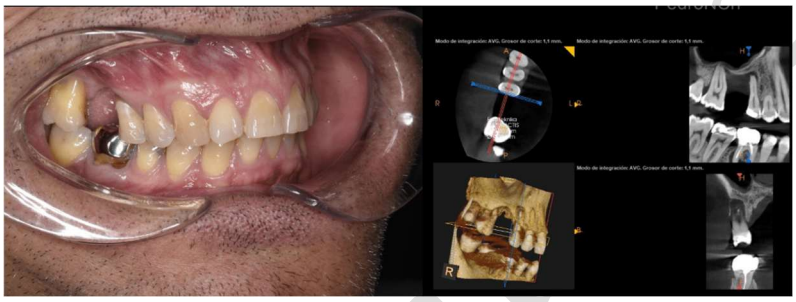
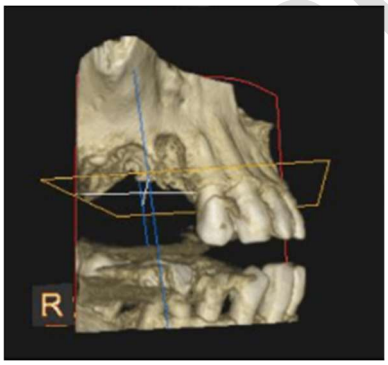


Figura 18.



Publicado

Figura 19.

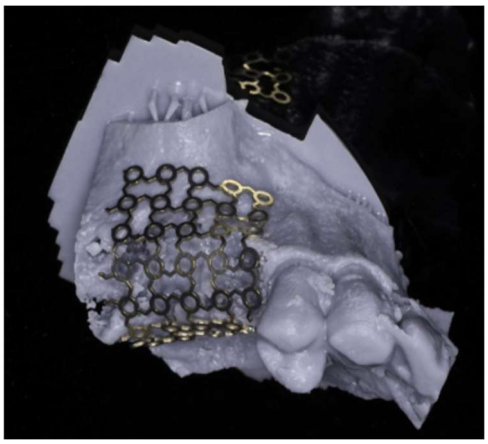


Figura 20.

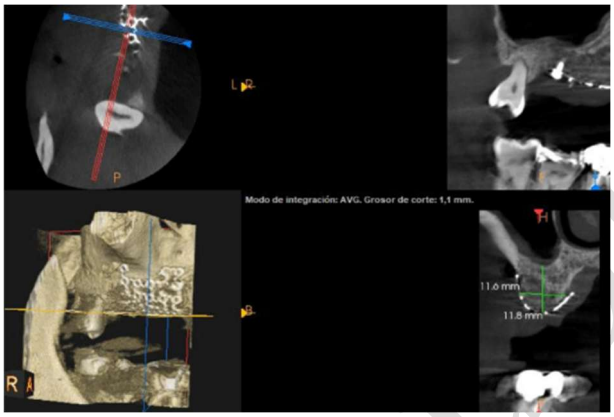


Figura 21.

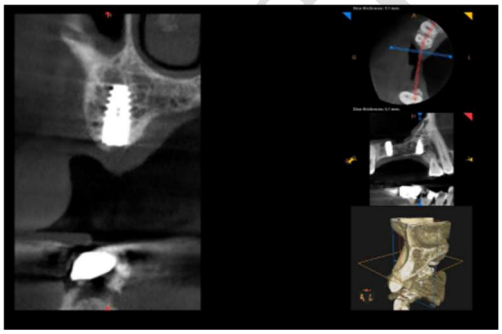


Figura 22.

Publicado

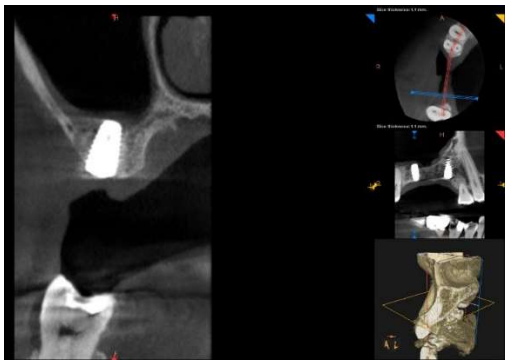


Figura 23.



Prepublicado