

## Técnicas de imagen para la planificación de implantes

Dirk Schulze, Dr. med. dent.<sup>a</sup>, y Dr. Alvaro Dini, Dr. med. dent.<sup>b</sup>

*La planificación previa a la colocación de implantes es un proceso complejo que requiere una ejecución precisa y global. Las técnicas de imagen representan un pilar fundamental en este proceso. Las distintas técnicas disponibles en este campo han experimentado un cambio espectacular durante los últimos años. Mientras que hace una década raras veces se utilizaba la tomografía computarizada para la planificación, hoy día se utiliza no sólo esta técnica, sino también la tomografía volumétrica digital dental como fuente para obtener datos para la planificación. En muchos casos, estos datos se transfieren a aplicaciones de planificación específicas y se utilizan, finalmente, como base para la confección de férulas quirúrgicas personalizadas.*

(Quintessenz. 2006;57(12):1371-8)

### Introducción

Se estima que, en 2006, se colocarán aproximadamente 600.000 implantes en las consultas odontológicas, clínicas de odontología y clínicas universitarias alemanas.

Una planificación seria y minuciosa es una condición indispensable para instaurar un tratamiento implantopro-tésico con buenos resultados. Las técnicas de imagen adecuadas son parte inherente de esta planificación. A continuación, se describen las distintas opciones de las que dispone el odontólogo o el cirujano oral o maxilofacial en lo que se refiere al diagnóstico por la imagen preimplantológico.

### Radiografía intraoral

Para la planificación de la colocación de implantes unitarios ha demostrado ser eficaz la realización de radiografías intraorales adicionales con técnica de paralelismo para evaluar la altura del lecho implantario, siempre que las piezas adyacentes estén sanas y la apófisis alveolar tenga una anchura suficiente (fig. 1). No se debería utilizar la técnica de bisección, ya que se pueden producir errores de proyección. En muchos casos, se puede comprobar la posición del implante después de su inserción con una radiografía intraoral. Ahora bien, esta técnica va perdiendo protagonismo en la planificación.

### Radiografía panorámica

La radiografía panorámica ha sido hasta ahora el examen radiológico por excelencia en odontología. En la planificación de implantes, se utilizan a menudo férulas quirúrgicas para marcar la región prevista del implante (figs. 2 y 3).

La radiografía panorámica consiste en un número infinito de tomografías lineales individuales horizontales o tomografías obtenidas según el principio de la radiografía por capas. Esto significa que, durante la rotación alrededor del paciente, se registran capas de un determinado grosor y que, fuera de esta capa, los objetos situados

Correspondencia: <sup>a</sup>Jefe de Sección de Radiología.  
Clínica y Policlínica de Cirugía Oral y Maxilofacial (Director: Prof. Dr. R. Schmelzeisen).

Clínica Universitaria de Odontología, Medicina Oral y Maxilofacial.  
Clínica de la Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Hugstetter Strasse 55, 79106 Friburgo i. Br. Alemania.

Correo electrónico: dirk.schulze@uniklinik-freiburg.de

<sup>b</sup>Clínica y Policlínica de Cirugía Oral y Maxilofacial (Director: Prof. Dr. Dr. N.-C. Cellrich).

Centro de Odontología, Medicina Oral y Maxilofacial de la Facultad de Medicina de Hannover.

Carl-Neuberg-Strasse 1, 30625 Hannover. Alemania.

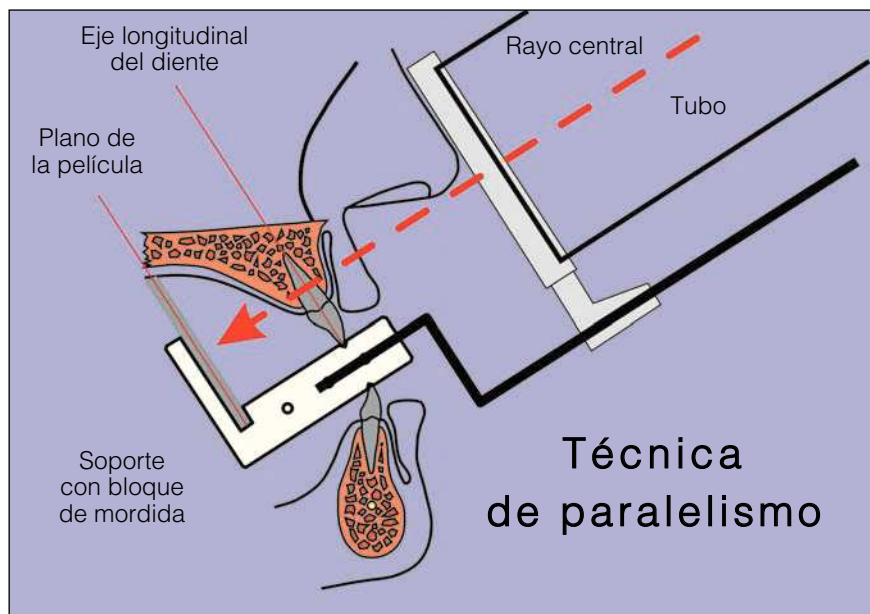


Figura 1. Película dental en técnica de paralelismo.

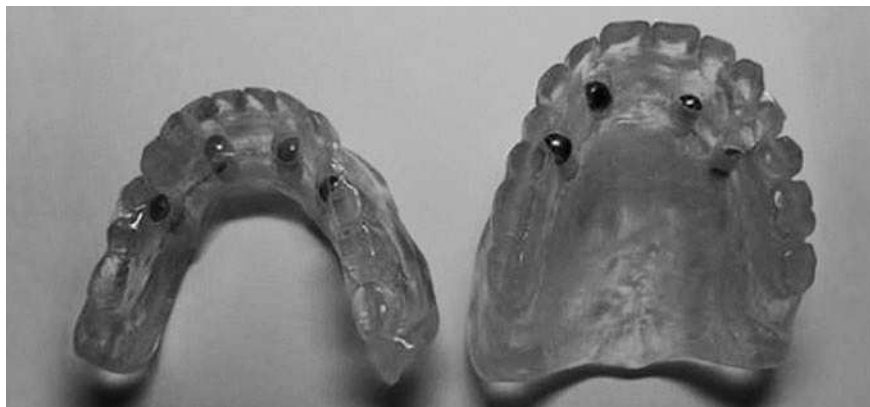


Figura 2. Férulas quirúrgicas típicas para maxilar y mandíbula.

en sentido más vestibular o más lingual se representan con una imagen poco nítida. La capa se sitúa normalmente a la altura de los dientes y de la apófisis alveolar. Los desplazamientos, como en caso de un posicionamiento erróneo del paciente o de asimetrías esqueléticas, provocan alteraciones en las imágenes. La repercusión del posicionamiento erróneo es mucho mayor en el plano horizontal que en el plano vertical, lo que ha sido demostrado de forma comprensible por Düker<sup>1</sup> (figs. 4a y 4b). En la práctica, se puede concluir que las mediciones en el plano vertical tienen una reproducibilidad bastante buena aun en caso de un posicionamiento erróneo del paciente.

Se debe tener en cuenta, en todos los casos, el factor de magnificación inherente a las imágenes de la radiografía panorámica. El factor de magnificación varía en-

tre 1,25 y 1,4 y se puede consultar al fabricante u obtener mediante una prueba sencilla. Para esta prueba se necesita un objeto de prueba o un simulador. Se coloca sobre éste un alambre radioopaco de longitud conocida en posición vertical. Si el alambre se encuentra en la capa durante la obtención de la imagen, se puede determinar fácilmente el factor de magnificación.

En la radiografía panorámica es necesario determinar siempre la altura de la apófisis alveolar por encima de estructuras adyacentes, como el suelo del seno maxilar o el suelo de las fosas nasales (maxilar) o el conducto dentario inferior (mandíbula). La superposición de otras estructuras anatómicas puede entorpecer las mediciones.

Por otro lado, los límites caudal y craneal de la apófisis alveolar no siempre se pueden determinar nítidamente. Esto se debe al mecanismo de generación de la ima-

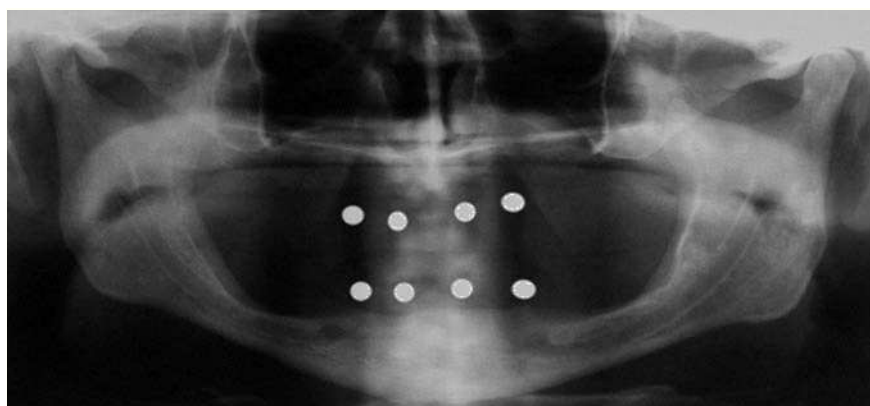


Figura 3. Radiografía panorámica después de la colocación de la férula quirúrgica.

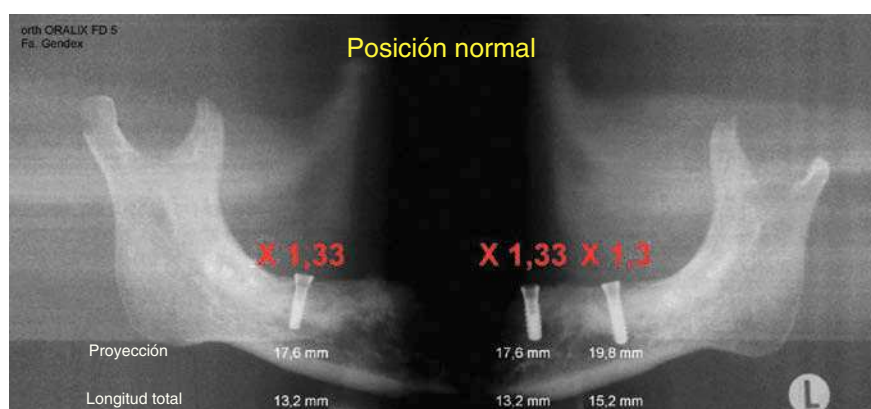


Figura 4a. Medición de implantes insertados en una radiografía panorámica de un simulador de maxilar inferior expuesto en posición normal.



Figura 4b. Medición de implantes insertados en una radiografía panorámica de un simulador de maxilar inferior expuesto en posición ventral.

gen: se observa una capa y no la apófisis alveolar en esta posición con los ejes x, y, y z. Por lo tanto, la radiografía panorámica no proporciona información mensurable sobre la anchura de la apófisis alveolar. La exploración clínica con palpación de la apófisis alveolar o el análisis mediante un modelo de yeso constituyen opciones alternativas para obtener información sobre la dimensión transversal de la apófisis alveolar. Pero existen otras téc-

nicas de imagen que sí permiten medir la anchura de la apófisis alveolar.

### Tomografía transversal

La tomografía transversal transfiere la tecnología antes mencionada a una imagen transversal de la apófisis alveolar<sup>4,7</sup> (figs. 5a y 5b). Esta sección transversa se sitúa



*Figura 5a. Radiografía transversal para la planificación implantológica.*



*Figura 5b. Radiografía transversal después de un aumento e inserción del implante.*

idealmente en posición vertical sobre el contorno de la apófisis alveolar. Esto permite una reproducción exacta de la situación anatómica. En general, se necesita una radiografía panorámica previa para la obtención de una tomografía transversal. A continuación, se establece la región a estudiar mediante determinados ajustes de programa o mediciones con calibres. En algunos casos se utilizan también otros instrumentos de mordida o apoyos de mentón. La toma obtenida consta habitualmente de varias imágenes individuales ordenadas secuencialmente de distal a mesial o viceversa. En este caso hay que tener en cuenta también un factor de magnificación que se puede determinar fácilmente con el método expuesto. La tomografía transversal se puede realizar rápidamente y a bajo coste en el consultorio. Sin embargo, es imprescindible tener en cuenta algunos aspectos:

- La adquisición de una tomografía transversal requiere ajustes de gran precisión. El personal debe recibir una formación específica.
- La evaluación de la tomografía transversal requiere cierta experiencia. En concreto, la localización del conducto dentario inferior puede resultar complicada.
- Los espacios en situación de extremo libre y los espacios unitarios de dentaduras remanentes poco o nada rehabilitadas son puntos en los que el uso de la tomografía transversal resulta especialmente eficaz. Pero si el espacio se encuentra limitado por una prótesis de densidad metálica, la evaluabilidad se verá claramente afectada, puesto que la difuminación no es tan eficaz como en el caso de una radiografía panorámica.



*Figura 6. Telerradiografía lateral: proyección lateral típica e imagen de tejidos blandos.*

- Algunas regiones situadas más distalmente pueden proporcionar una imagen insuficiente en determinadas circunstancias.

Como en el caso de la radiografía panorámica, la desventaja de esta técnica es que se trata de imágenes bidimensionales que sólo permiten la interpolación de información tridimensional, pero no la reproducen directamente.

### Telerradiografía lateral

Esta técnica de imagen se sigue utilizando hoy día para determinar la dimensión vertical y la anchura de la apófisis alveolar, sobre todo en el sector anteroinferior (fig. 6). Se deben tener en cuenta las superposiciones de las regiones adyacentes dado que, en la mandíbula, se sobreproyecta la zona entre los dientes 33 y 43. Se pueden realizar así mismo mediciones en el sector anterosuperior. Ahora bien, en el resto de las regiones, la geometría de las proyecciones genera distorsiones. Por este motivo, se utilizará esta prueba complementaria únicamente en casos excepcionales para la evaluación del lecho implantario. De estos casos excepcionales también puede formar parte el control terapéutico de una distracción preimplantológica de la apófisis alveolar en el sector anteroinferior<sup>3</sup>.

Hasta hace algunos años, en algunos centros clínicos se solían realizar tomografías convencionales. Éstas eran considerablemente más complejas que la tomografía transversal desde el punto de vista técnico, pero la calidad de imagen era suficiente. Esta técnica radiográfica ha sido reemplazada progresivamente por procedimientos tomográficos. Para la planificación de implantes, los más utilizados son la tomografía computarizada, la tomografía volumétrica digital y la resonancia magnética en casos especiales.

### Tomografía computarizada

En la tomografía computarizada se registran los espectros de absorción por capas de todos los objetos situados dentro de un volumen definido (fig. 7a). Esto significa que se registra desde distintos ángulos la absorción de rayos X por un objeto individual (suele tratarse de un cubo con una longitud de arista milimétrica o submilimétrica). Estas absorciones se corresponden con la escala de grises que se conoce de las radiografías simples: blanco = mucha absorción = tejido denso (como hueso), negro = poca o ninguna absorción = tejido laxo o ausencia de tejido (como grasa o aire). Con objeto de conseguir una resolución geométrica alta, los cortes obtenidos en

la tomografía computarizada son especialmente finos, por lo que el haz de rayos X tiene forma de abanico. La dosis efectiva de una tomografía computarizada (1,5 a 2 mSv) equivale por término medio a entre 200 y 300 radiografías panorámicas o a aproximadamente 40 vuelos entre Frankfurt y Nueva York<sup>5</sup>.

Los datos se retroproyectan matemáticamente al espacio después de la adquisición. Este proceso se denomina también reconstrucción primaria. En general, se obtiene como resultado un volumen cilíndrico o paralelepípedo, que consta de numerosas capas individuales. En función del grosor de las distintas capas hará falta, por lo tanto, reconstruir más o menos imágenes.

La fase decisiva es la elaboración de reconstrucciones secundarias, es decir, la posibilidad de seccionar el conjunto de capas en distintos planos. Esto permite obtener imágenes en el plano frontal, sagital, transversal y el resto de proyecciones disponibles. Estos cálculos se denominan también reconstrucciones multiplanares (MPR). Este aspecto adquiere una importancia especial para la planificación del tratamiento, dado que se puede ajustar la visión de la morfología en función de las necesidades. Existe la posibilidad de generar una reconstrucción multiplanar curva similar a una proyección radiográfica panorámica. No obstante, no se debe olvidar que la reconstrucción sólo proporciona información sobre un determinado grosor de capa (en este caso 1 mm, frente a los 20 mm de una radiografía panorámica). El grosor de capa es ajustable, pero no hay forma de calcular una reconstrucción equivalente a una radiografía panorámica, dado que no aparecen difuminaciones.

En la planificación de implantes, un paquete de software especial (Dental-CT) permite reconstruir cortes transversales a lo largo del contorno de la apófisis alveolar (figs. 7b a 7d). En estas reconstrucciones, se pueden determinar después la altura y la anchura de la apófisis alveolar. Los datos generados por la tomografía computarizada se pueden importar sin mayores problemas a programas específicos para la planificación de implantes.

### Tomografía volumétrica digital

La tomografía volumétrica digital forma parte desde 1998 de los procedimientos de diagnóstico por imagen en odontología, donde ha conseguido imponerse con relativa rapidez<sup>6</sup> (fig. 8a). A diferencia de la tomografía computarizada, con esta técnica se adquieren imágenes de un determinado volumen en una sola rotación alrededor del paciente. Esto significa que el haz de rayos debe tener forma cónica, mientras que en la tomografía computarizada tiene forma de abanico. Por este motivo, para





Figura 7a. Colocación del paciente para la TC.

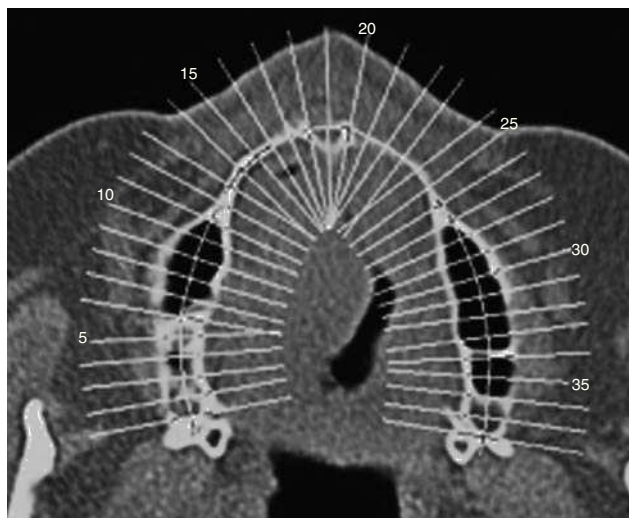


Figura 7b. Topograma de reconstrucciones multiplanares secundarias transversales sobre una tomografía axial computarizada.

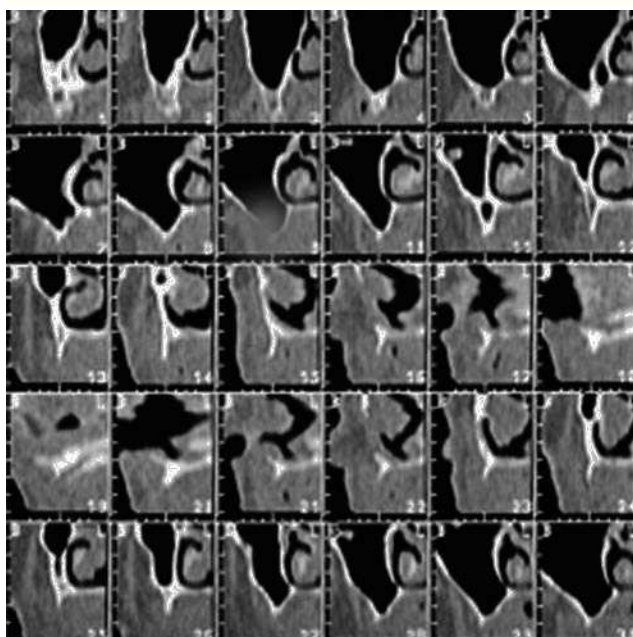


Figura 7c. Reconstrucción multiplanar transversal de una TC de maxilar superior.



Figura 7d. Reconstrucción tridimensional del esqueleto facial.

esta exploración sólo hace falta una rotación alrededor del paciente. Durante dicha rotación, se registra un número determinado de imágenes fluoroscópicas (fig. 8b). El número de imágenes varía según el fabricante.

Actualmente se sitúa entre 200 y 500 imágenes. De forma similar a una tomografía computarizada, se reconstruye un volumen o un conjunto de capas a partir de

los datos obtenidos. Esto equivale nuevamente a la reconstrucción primaria. A partir de los datos de reconstrucción primaria, se pueden volver a generar los planos secundarios que se deseen (fig. 8c). La dosis efectiva de una tomografía volumétrica digital equivale a entre 4 y 20 radiografías panorámicas o a entre 1 y 2 vuelos de Frankfurt a Nueva York<sup>5</sup>.



Figura 8a. Colocación del paciente para la tomografía volumétrica digital.

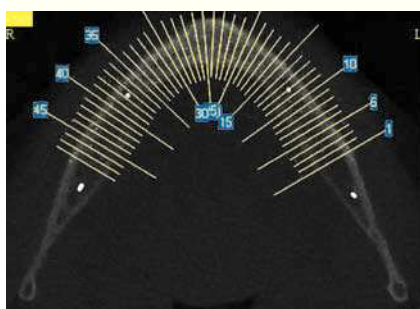


Figura 8c. Topograma de reconstrucciones multiplanares secundarias transversales en la mandíbula sobre una tomografía volumétrica digital axial.



Figura 8d. Reconstrucción multiplanar secundaria sagital de una tomografía volumétrica digital de la mandíbula con marca localizadora incorporada del conducto dentario inferior.

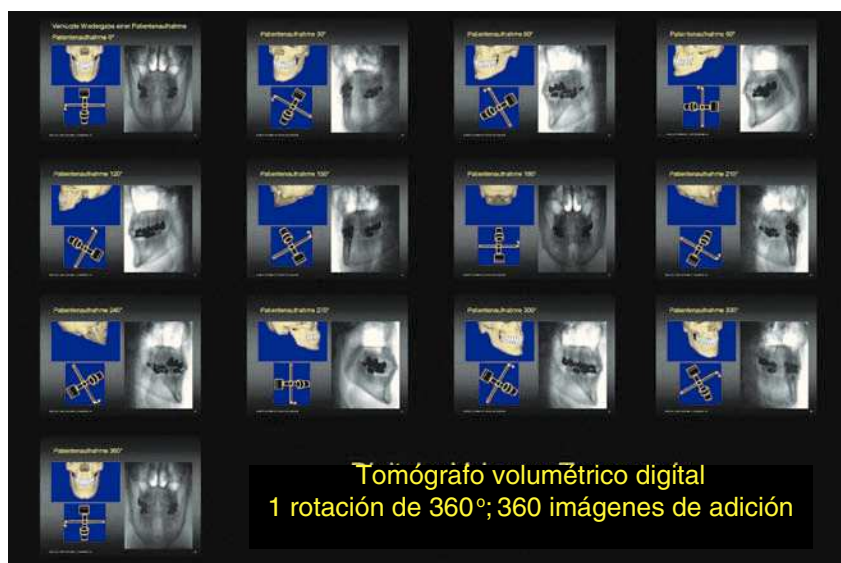


Figura 8b. Cada una de las posiciones del tubo de rayos X y del detector así como de la imagen fluoroscópica correspondiente durante una tomografía volumétrica digital.

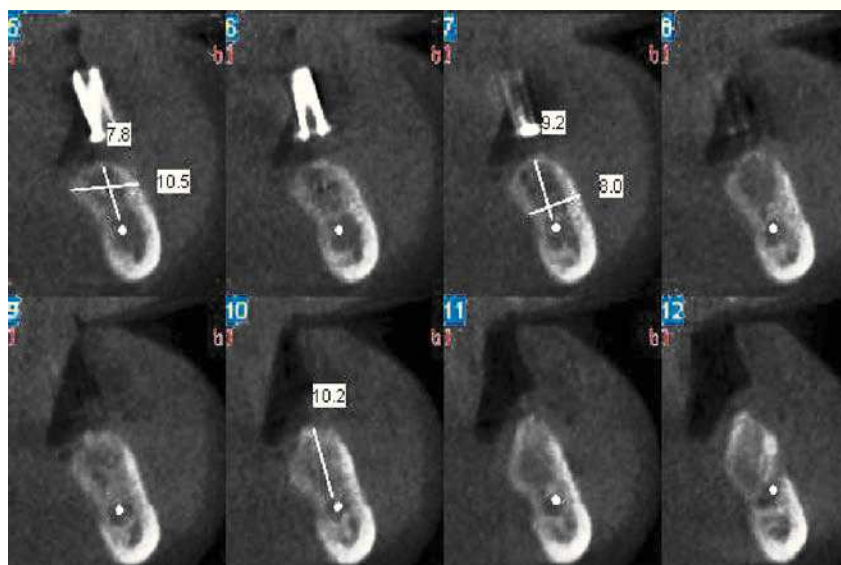


Figura 8e. Reconstrucción multiplanar secundaria transversal con imagen de la marca localizadora del canal dentario, casquillos posicionadores y las mediciones correspondientes.

El tratamiento posterior de las imágenes depende en gran medida de la gama de funciones del software integrado, de manera que en equipos como el NewTom (Newtom Deutschland, Marburg, Alemania) se puede marcar el conducto dentario inferior en el plano sagital. Estas marcas se incorporan a las reconstrucciones transversales correspondientes, lo que facilita la localización

posterior del conducto dentario inferior (figs. 8d y 8e). Lógicamente, se pueden realizar mediciones en todos los planos disponibles.

Actualmente se comercializa una serie de programas informáticos diseñados para la planificación de implantes (fig. 9). La industria ha optado por dar un paso más y ampliar la planificación virtual con la posibilidad de ge-

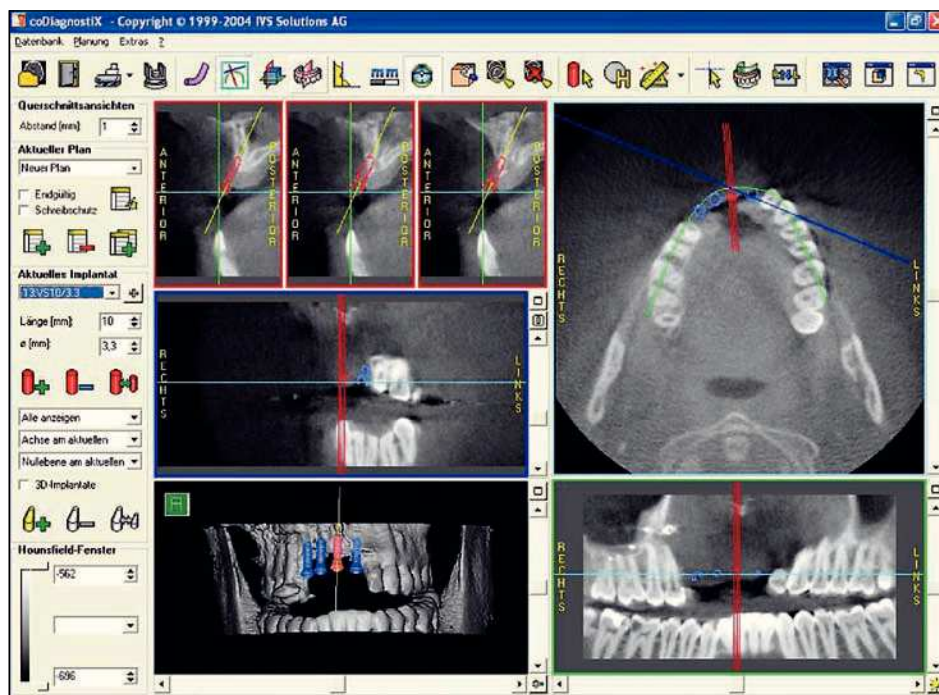


Figura 9. Interfaz de la aplicación para planificación de implantes coDiagnostiX, de IVS Solutions (Chemnitz), una vez importados los datos de la tomografía volumétrica digital.

nerar una férula quirúrgica<sup>8</sup>. El principio es comparable en todos los fabricantes:

1. Se importa un conjunto de datos de una modalidad tomográfica. Este conjunto de datos debería estar disponible normalmente en formato DICOM en la especificación de la tomografía computarizada.
2. A continuación se segmenta, es decir, se descompone el conjunto de datos mediante la selección específica de intervalos de escalas de grises, lo que se consigue por ejemplo mediante el ajuste de un umbral superior y un umbral inferior.

Se seleccionan todas las escalas de grises dentro de este intervalo y se desecha el resto del conjunto de datos. Las estructuras adyacentes, como el conducto dentario inferior, se pueden segmentar por separado. Lo que queda es un modelo tridimensional del maxilar correspondiente.

3. A continuación, se pueden insertar implantes virtuales en este modelo. Los implantes se eligen a partir de catálogos en los que se pueden incluir todos los datos CAD de tipos de implantes que se desee. Existe también la posibilidad de confeccionar una especie de biblioteca con los implantes preferidos. La colocación del implante se corresponde en gran medida también con una medición longitudinal. El paso decisivo es la transferencia de los datos de planificación a un modelo o férula quirúrgica. Para dicha transfe-

rencia se utiliza una mesa de planificación ajustable (tned3D, IVS) o se soluciona con la confección de modelos especiales (Materialise). La transferencia se puede realizar en el propio laboratorio o se puede externalizar, en función de lo que se decida en cada caso.

Naturalmente, estos conjuntos de datos se pueden importar también a sistemas de navegación. En las intervenciones con navegación es imprescindible localizar en el espacio no sólo al paciente, sino también el instrumental utilizado y referenciarlos respecto al conjunto de datos. Este procedimiento se denomina registro. Se suele tratar de un procedimiento óptico para el que se utilizan cámaras de infrarrojos y marcadores insertados o aplicados. Una vez se ha ejecutado correctamente este paso, se puede localizar con precisión la punta de la fresa o también la punta del implante en el espacio y realizar la perforación bajo control en el monitor. Un ejemplo de estas técnicas es «Robodent». Cabe resaltar que estos sistemas van asociados a una extraordinaria complejidad técnica. La idea de que la navegación es coser y cantar no se corresponde con la realidad. Además, existen numerosas fuentes de error y la precisión geométrica de  $\pm 1$  mm es simple y llanamente insuficiente en muchos casos. Por todo esto, las ventajas del método se limitan de momento a las indicaciones excepcionales, como puede ser la inserción paralela de dos implantes



cigomáticos en una reconstrucción implantológica post-tumoral<sup>9</sup>.

## Resumen

El diagnóstico por imagen en odontología ha experimentado un avance considerable del que se ha beneficiado un área terapéutica importante como es la implantología. En caso de utilizar exclusivamente radiografías simples, será absolutamente necesario realizar una radiografía panorámica y recomendable obtener un segundo plano mediante una radiografía transversal<sup>2</sup>. Los autores son plenamente conscientes de que esto no es fácil de conseguir. La planificación implantológica moderna comprende hoy día la adquisición de un conjunto de datos tridimensional, sobre todo si no se ha conseguido aclarar suficientemente las dimensiones del lecho óseo implantario mediante la radiografía convencional y la exploración física. Si esta información se obtiene mediante tomografía computarizada o tomografía volumétrica digital será cuestión de disponibilidad y, naturalmente, de la dosis de radiación. La dosis de radiación utilizada en la tomografía volumétrica digital es considerablemente menor, por lo que se debería dar preferencia a esta técnica.

La era de la radiografía simple llega lenta, pero inexorablemente, a su fin. Este cambio no se producirá de un día para otro, pero llegará. De lo que nadie duda es de que la implantología dental constituye una disciplina de re-

ferencia en cuanto a planificación, control de calidad y formación gracias a la implantación de las técnicas de imagen tridimensionales.

## Bibliografía

1. Düker J. Röntgendiagnostik mit der Panoramaschichtaufnahme. 2., überarb. Aufl. Heidelberg: Hüthig Zahnmedizin, 2000.
2. Dula K, Mini R, van der Stelt PF, Buser D. The radiographic assessment of implant patients: decision-making criteria. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001;16:80-89.
3. Gellrich NC, Suarez-Cunqueiro MM, Schön R, Hoffmann M, Schramm A. Distraction osteogenesis in an anterior mandibular bone defect utilizing lingual periosteal release: a case report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19:753-757.
4. Kaeppler G. New radiographic programs for transverse conventional tomograms in the dentomaxillofacial region. *Quintessence Int* 1999;30:541-549.
5. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:219-226.
6. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998;8:1558-1564.
7. Peltola JS, Mattila M. Cross-sectional tomograms obtained with four panoramic radiographic units in the assessment of implant site measurements. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:295-300.
8. Rosenfeld AL, Mandelaris GA, Tardieu PB. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 1: diagnostics, imaging, and collaborative accountability. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:215-221.
9. Schramm A, Gellrich NC, Schimming R, Schmelzeisen R. Rechnergestützte Insertion von Zygomatikumimplantaten (Brånemark-System) nach ablativer Tumorchirurgie. *Mund Kiefer Gesichtschir* 2000;4:292-295.