

Transferencia de datos de imagen tridimensionales de sistemas de TVD a un software de planificación y simulación externo

Elmar Frank, Dr. med. dent., y Sigrid Frank, Dr. med. dent.

Gracias a la popularización de la tomografía volumétrica digital (TVD) dental, el diagnóstico 3D se está imponiendo como método estándar en un número cada vez mayor de disciplinas odontológicas. El presente artículo describe los principios técnicos y logísticos para la transferencia de datos de imágenes tridimensionales procedentes de tomógrafos volumétricos digitales a programas de planificación y simulación de otros fabricantes a través de la interfaz DICOM.

(Quintessenz. 2010;61(11):1417-23)

Introducción

Gracias a la popularización de la tomografía volumétrica digital (TVD) dental, el diagnóstico 3D se está imponiendo como método estándar en un número cada vez mayor de disciplinas odontológicas. En muchos casos, el diagnóstico 3D permite una evaluación mucho más exacta que la que ofrecen los métodos bidimensionales clásicos.

Además de la tercera dimensión, que permite una orientación espacial precisa, una de las grandes ventajas de la tomografía volumétrica digital es la representación del volumen sin distorsión. Las radiografías intraorales y pano-

rámicas, por el contrario, contienen distorsiones inherentes al sistema que a menudo impiden realizar mediciones suficientemente precisas a pesar del uso de testigos como bolas metálicas o (mejor) cilindros. La exactitud dimensional de la tomografía volumétrica digital permite realizar mediciones mucho más precisas, sobre todo espaciales, y mejorar notablemente la planificación con programas especiales. La TVD resulta especialmente útil en implantología, cirugía maxilofacial, endodoncia y cualquier otra disciplina en la que sea necesario realizar cuantificaciones exactas, que en muchos casos dependen de milímetros o décimas de milímetro.

Si hace tan sólo unos años las radiografías 3D constituían una técnica utilizada por unos pocos especialistas en casos excepcionales, hoy en día se han convertido en un procedimiento estándar ampliamente extendido en Alemania. Los usuarios actuales de sistemas de TVD provienen en su mayoría del colectivo „histórico“ de usuarios de la tomografía computarizada (TC), los cuales encargaban a las clínicas radiológicas la adquisición de los datos radiográficos para su posterior evaluación con un software propio. Los datos derivados del análisis y la medición sirven a menudo de base para la fabricación de una férula adecuada.

Sistemas modernos de TVD: estado actual de la técnica

Los sistemas modernos de TVD trabajan con una dosis de radiación extremadamente baja próxima a la radiación de fondo, por lo que los datos de imagen que proporcionan son difíciles de distinguir del ruido de fondo. Aunque consume muchos recursos, la programación de

Correspondencia:
Bahnhofstrasse 16/2, 74354 Besigheim, Alemania.
Correo electrónico: info@drfrank.de

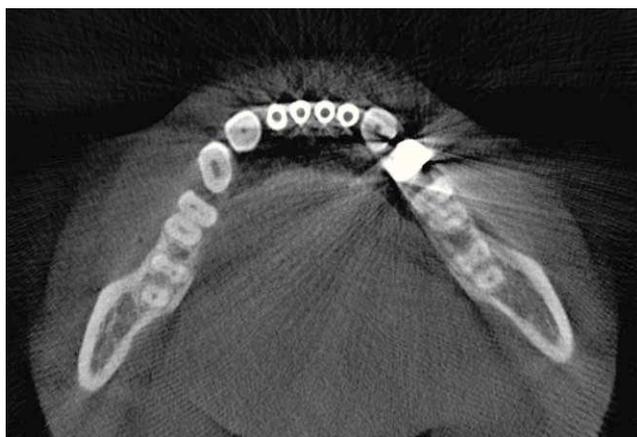


Figura 1. Imagen de TVD con artefactos metálicos en una representación convencional.



Figura 2. Imagen de TVD con artefactos metálicos y limpieza de artefactos mejorada; misma imagen que en la figura 1 (prototipo de software desarrollado por Sirona).

potentes algoritmos de reconstrucción de imágenes es el argumento de marketing más utilizado por los fabricantes de cara a los clientes. En lo que al hardware se refiere, no existen grandes diferencias entre los distintos fabricantes: todos los sistemas presentan la misma geometría y el número de proveedores existentes en el mundo capaces de suministrar el sensor (el componente fundamental) es muy limitado. Por esa razón los fabricantes invierten sus mayores esfuerzos en el desarrollo y la mejora de los algoritmos de cálculo y optimización de imágenes (figs. 1 y 2). Muchos fabricantes de tomógrafos volumétricos digitales consideran que han cumplido su misión cuando en la pantalla aparece una imagen tridimensional de dimensiones exactas y de alta calidad.

Grupos destinatarios y flujo de planificación

En el caso particular de la implantología, esto es tan sólo el principio. Y es que aunque desde el punto de vista médico/radiológico el diagnóstico cumpla con los requisitos legales establecidos, no es el motivo principal para recurrir a la tomografía 3D. El implantólogo que utiliza sistemas de planificación 3D, además de confirmar la ausencia de tumores, soluciones de continuidad, líneas de fractura o similares en la estructura estudiada, necesitará lo siguiente:

- Instrumentos de medición de distancias, ángulos y densidades (valores de gris).
- Un sistema de referencia del paciente para estas medidas aplicable a cualquier método de exploración y planificación y transferible de nuevo al paciente.

- Una estructura guía que permita ubicar de forma reproducible en la intervención quirúrgica las posiciones calculadas.

La principal utilidad de los programas de software y del hardware especializados de planificación –presentes en el mercado mucho antes de que apareciera el primer tomógrafo volumétrico digital– es la valoración métrica de imágenes 3D y la simulación de estructuras protésicas virtuales y de las medidas de aumento e implantes que resulten necesarios o convenientes. Intentar alcanzar la posición de liderazgo que estos programas y equipos ocupan en el mercado es uno de los grandes retos a los que se enfrentan los fabricantes de sistemas TVD. Mucho antes de adquirir un tomógrafo volumétrico digital, la mayoría de implantólogos, cirujanos y ortodoncistas pioneros en el uso de tecnologías avanzadas de planificación y navegación dominaban o poseían como mínimo un software de planificación. Es bastante improbable que un profesional que todavía no conozca a fondo esta tecnología decida de repente comprar un sistema completo de TVD sin haber adquirido previamente alguna experiencia a través de sistemas de planificación propios y servicios externos de TVD/TC. Por lo tanto, el mercado destino de los fabricantes de tomógrafos volumétricos digitales es más bien el compuesto por profesionales experimentados que desean cambiar a una tecnología más avanzada y no el de profesionales «principiantes» que se acaban de incorporar a los avances técnicos.

Los programas de visualización de imágenes que se suministran con los tomógrafos volumétricos digitales disponen de algunas opciones de planificación y simulación que permiten visualizar y valorar debidamente las imá-

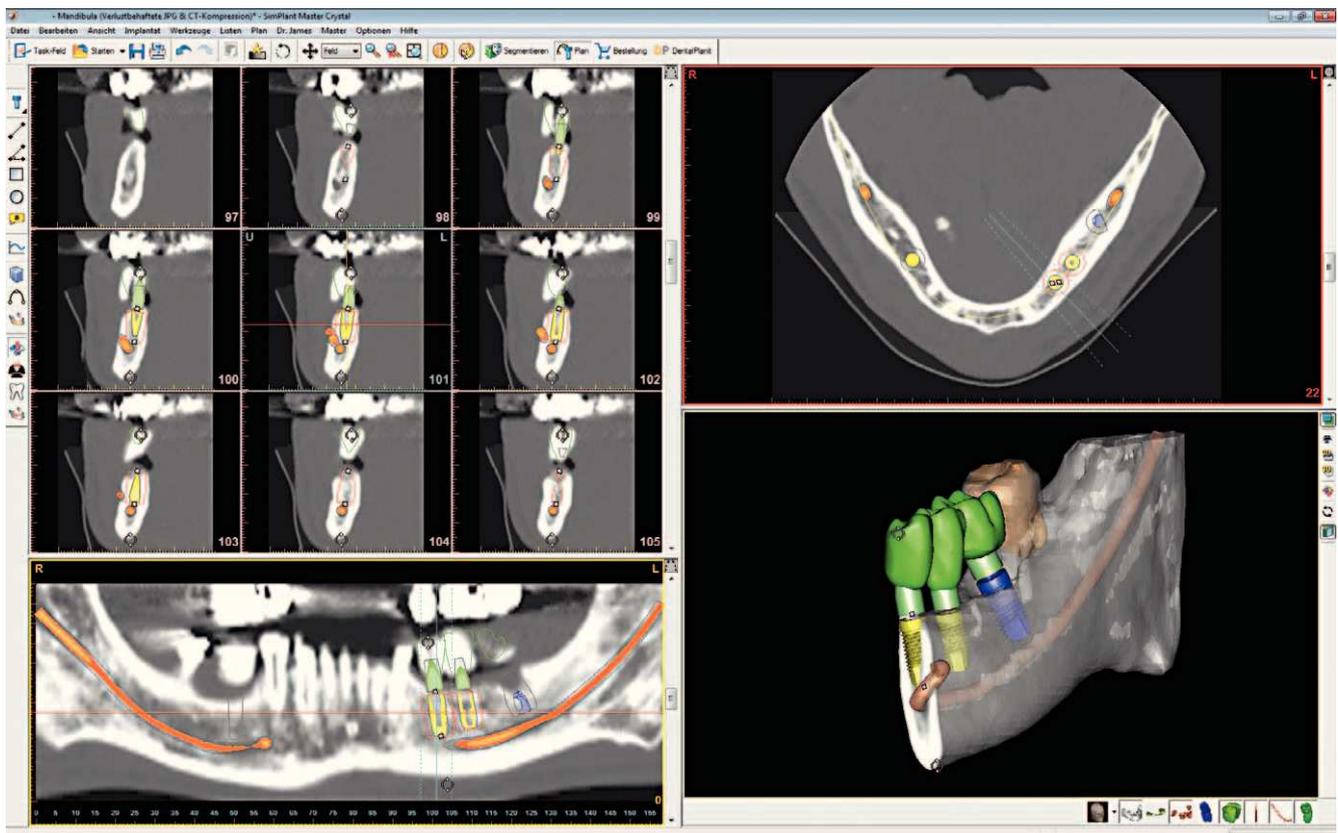


Figura 3. Captura de pantalla de SimPlant Crystal, uno de los programas más «veteranos» de planificación de implantes.

genes, realizar simulaciones de implantes sencillas y, en algún que otro caso, ayudar en la confección de férulas. No obstante, no tienen tantas funciones como los sistemas altamente especializados presentes en el mercado desde hace décadas, que ofrecen a los implantólogos todo aquello que desean y más: desde la representación fotorealista de pilares hasta la simulación de medidas de aumento, la indicación de coordenadas numéricas de implantes y el posicionamiento semiautomático de implantes (fig. 3).

La utilización de distintos programas, cada uno con sus opciones y ventajas específicas, hace imprescindible que exista la posibilidad de transferir datos entre los diferentes sistemas.

Almacenamiento e intercambio de datos de imagen a través de DICOM

El estándar internacional abierto para la transferencia de datos de imagen en medicina se denomina DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Los datos pueden ser imágenes digitales o información complemen-

taria como segmentaciones, descripciones de superficie o registros de imágenes. DICOM es el estándar utilizado para el almacenamiento de datos y el protocolo de comunicación empleado para intercambiar dichos datos. Concebida originalmente para datos TC, la estructura interna de los archivos DICOM está orientada a las tomografías computarizadas. Para la exportación al formato DICOM, el volumen 3D se divide generalmente en cortes axiales que se guardan en un único archivo o en varios archivos discretos. De este modo, aparte de los datos de imagen, DICOM puede almacenar y transmitir toda clase de información complementaria como la modalidad de imagen, la resolución de valores de gris (profundidad de bits), el tamaño y la forma de los píxeles y la distancia entre cortes.

Las imágenes bidimensionales se componen de elementos de superficie denominados píxeles (acrónimo formado a partir de las palabras inglesas «picture» y «element»). De forma análoga, los datos de imágenes tridimensionales se componen de unos elementos de volumen denominados vóxeles. Cada vóxel de una radiografía se caracteriza por sus dimensiones, sus ángulos de arista y un valor de gris (número entero). Los vóxeles que pro-

porciona un tomógrafo volumétrico digital son cúbicos (longitud = anchura = altura, todos los ángulos de 90°), mientras que en el caso de los equipos de TC también pueden tener forma de paralelepípedo o incluso formas irregulares (vóxeles anisotrópicos). La altura de los paralelepípedos o prismas en la TC viene determinada por el avance de la mesa y por el algoritmo de reconstrucción empleado y puede variar en función del conjunto de datos.

Asimismo, la TC convencional proporciona valores de gris «auténticos» reproducibles, calibrados y válidos para cualquier equipo (llamados valores Hounsfield, por el coinventor de la TC), algo que los sistemas de TVD sólo pueden realizar de forma limitada. En el caso de los valores Hounsfield se trata de valores absolutos para materiales y tejidos (p. ej. huesos), mientras que en las imágenes TVD estos valores son relativos, es decir, son coherentes dentro de un conjunto de datos pero no son válidos para todos los pacientes o equipos. En consecuencia, las exportaciones DICOM de imágenes TVD pueden diferir entre sí. Por ejemplo, cuando se dice que una imagen es de «12 bits» significa que teóricamente puede representar $2^{12} = 4.096$ niveles de gris distintos. Pero mucho más importante que la cantidad posible de niveles de gris es la facilidad con la que se distinguen los niveles de gris relevantes para la planificación y la fiabilidad con la que un determinado nivel de gris puede asignarse a una determinada densidad de tejido.

La mayoría de los fabricantes de sistemas de diagnóstico por imagen o sistemas de tratamiento de imágenes para uso médico (p. ej., TVD, TC, resonancia magnética nuclear [RMN] y radiografía 2D digital) comercializan productos compatibles con el estándar DICOM. De este modo queda garantizada en el entorno clínico y hospitalario la compatibilidad entre sistemas de distintos fabricantes. Los denominados PACS (Picture Archiving and Communication System) se utilizan en hospitales y clínicas y también están basados en el estándar DICOM.

Por regla general, los sistemas TVD incorporan funciones de exportación DICOM que convierten los datos volumétricos calculados al formato DICOM para que puedan ser utilizados por otras aplicaciones. Los programas de planificación, por su parte, tienen funciones de importación DICOM que permiten cargar los datos volumétricos y utilizarlos para la planificación. Tras la importación, los datos se pueden editar y optimizar de nuevo para aprovecharlos al máximo según la finalidad de uso prevista. No obstante, este proceso de optimización debe cumplir unas condiciones muy estrictas (también en lo que respecta a la homologación), ya que está prohibido «filtrar» o «inventar» detalles relevantes. El software no es capaz de distinguir si dos vóxeles poseen distintos valores de

gris, porque el tejido que reproducen presenta una densidad radiológica diferente en las zonas correspondientes o porque hay ruido en el sensor o un artefacto en el algoritmo de cálculo de la imagen.

Muchos programas de planificación ofrecen además la posibilidad de realizar una segmentación o una «renderización de superficie», un proceso mediante el cual se agrupan vóxeles que llegan hasta un determinado valor límite «duro» y, a continuación, se determina la descripción matemática de la superficie que «envuelve» a ese grupo. Con esto se obtienen cuerpos tridimensionales extremadamente nítidos que se describen por su superficie (surface shaded display = SSD) y no por sus vóxeles internos. Dicho de manera sencilla, esta descripción de superficie determina la transición dura de «algo» (p. ej., un hueso) a «nada» (p. ej., una mucosa) (fig. 4). Este tipo de segmentación es necesaria, por ejemplo, para crear objetos concretos (modelos, férulas) a partir de datos 3D (fig. 5).

Otra forma de representar datos 3D es mediante lo que se conoce como «renderización de volumen». A diferencia de la renderización de superficie, este método no interpreta una transición «dura» entre zonas de mayor o menor densidad sino que asigna un determinado valor de color y opacidad a los distintos vóxeles en función de su valor de gris (fig. 6). De este modo se obtienen imágenes semitransparentes «blandas» que permiten distinguir las estructuras internas (a los profesionales con buenos conocimientos anatómicos) aunque no pueden utilizarse para controlar fresadoras 3D ni máquinas de exposición (fig. 7). La máquina únicamente puede fresar el volumen de un vóxel o dejarlo intacto, pero no es posible «conservarlo a medias» ni «fresarlo al 70%». Estos equipos de producción que trabajan de manera aditiva o sustractiva utilizan segmentaciones exactas. Sin embargo, las imágenes TVD son difíciles de segmentar debido a la elevada cantidad de ruido y a la escasa amplitud de la escala de grises inherentes al sistema. Como consecuencia, el método TVD debe cumplir unos requisitos más estrictos que las imágenes TC para la confección de bases de férulas digitales.

Se ha dicho hasta la saciedad que DICOM no es garantía de compatibilidad y que cuando se transfieren datos de imagen del sistema de origen al sistema de evaluación externo se producen «mermas de calidad», «errores de conversión» y similares. Esta afirmación no es en absoluto cierta: DICOM ofrece un gran número de campos de datos que, aunque no son obligatorios, pueden ser rellenados por los sistemas de obtención de imágenes. Estos campos opcionales no son relevantes para la calidad de la imagen. Las diferencias en cuanto a la representa-



Figura 4. Renderización de superficie de un conjunto de datos TVD.



Figura 5. Férula estereolitográfica para la formación de un bloque de hueso en una distracción osteogénica intraalveolar.

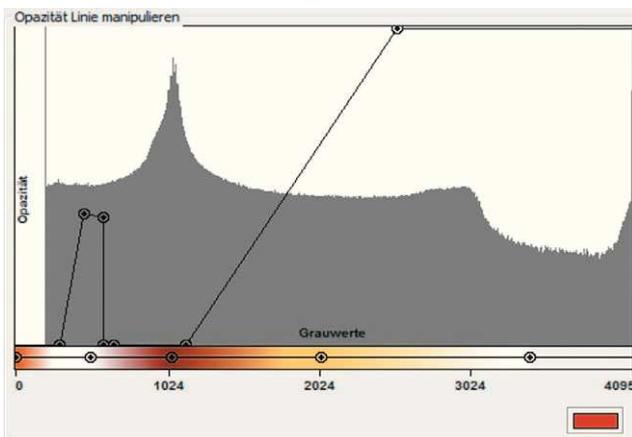


Figura 6. Definición de un perfil de densidad concreto para renderización de volumen en SimPlant Crystal.

ción surgen siempre antes o después de la exportación o la importación DICOM.

Los datos exportados pueden adoptar distintas formas. Antes de exportar las imágenes el programa de exportación puede optimizarlas según la finalidad de uso pretendida, lo cual no tiene nada que ver con el «lenguaje» (DICOM) en el que se exportan.

Algunos sistemas de TVD ofrecen funciones de optimización para la exportación DICOM. Esta posibilidad de ajustar la exportación en función del sistema destino y de las indicaciones resulta muy útil, ya que los datos exportados se utilizan en distintas disciplinas (en implantología es fundamental la representación de las estructu-



Figura 7. Renderización de volumen de un conjunto de datos de TVD; mismo caso en que la figura 4.

ras óseas, por ejemplo, mientras que en aplicaciones ortodóncicas con fines cefalométricos es más importante la representación combinada de tejidos blandos y duros) y en distintos sistemas destino con características de importación diferentes.

La exportación puede configurarse de diversas formas. En el caso de la planificación de implantes, las imágenes TVD presentan a menudo una resolución mucho

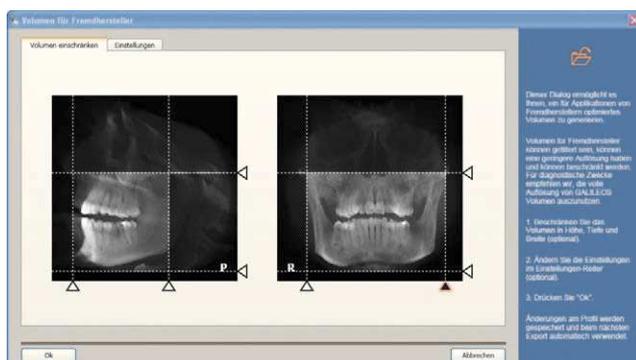


Figura 8. Limitación del volumen de datos que se desea exportar en Sidexis XC.

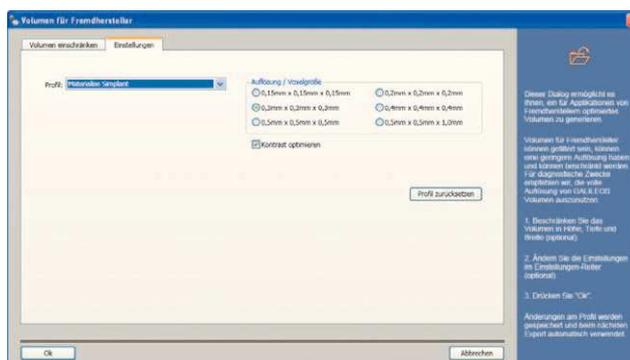


Figura 9. Especificación del tamaño de exportación de los vóxeles y del filtrado en Sidexis XC.

mayor que la necesaria, por lo que ésta puede reducirse al realizar la exportación. El propósito de esta medida es mejorar la segmentabilidad de los datos, es decir, que las superficies calculadas sean más lisas y homogéneas al ser más grandes los vóxeles. Otra ventaja de esta medida es la considerable reducción del tamaño de los archivos: si un volumen con un tamaño de vóxel de 0,3 mm se recalcula a un tamaño de 0,5 mm y a continuación se exporta, el volumen de datos se reduce un 79%.

Otra manera de favorecer la segmentación en el software implantológico consiste en utilizar filtros en la reconstrucción. A este respecto, y en relación con los modelos disponibles en el mercado, es importante tener presente estos dos aspectos fundamentales:

- Los equipos más orientados a la tecnología TC (dosis elevada, alta tensión anódica y, por consiguiente, contraste similar a la TC) presentan generalmente un filtrado más fuerte durante el cálculo interno del volumen.
- El resto de los equipos renuncian a este filtrado, con lo que los detalles se distinguen mejor pero la calidad de la segmentación disminuye.

En algunos sistemas TVD, como por ejemplo Sidexis XG (Sirona, Bensheim, Alemania), pueden configurarse distintos perfiles de exportación DICOM para ajustar el filtrado con el que se desea exportar los datos. Existe además la posibilidad de limitar el volumen de datos que se va a exportar.

El programa de importación, por su parte, también puede manipular, modificar y filtrar los datos importados. Así, por ejemplo, en SimPlant (Materialise Dental, Leuven, Bélgica) las imágenes TVD se representan con menos ruido o son más «claras» gracias a los algoritmos «Crystal» de optimización de imágenes, y en InVi-vo5 (Anatomage, San José, EE. UU.) con una estética mucho más atractiva que las espectaculares renderizaciones de volu-

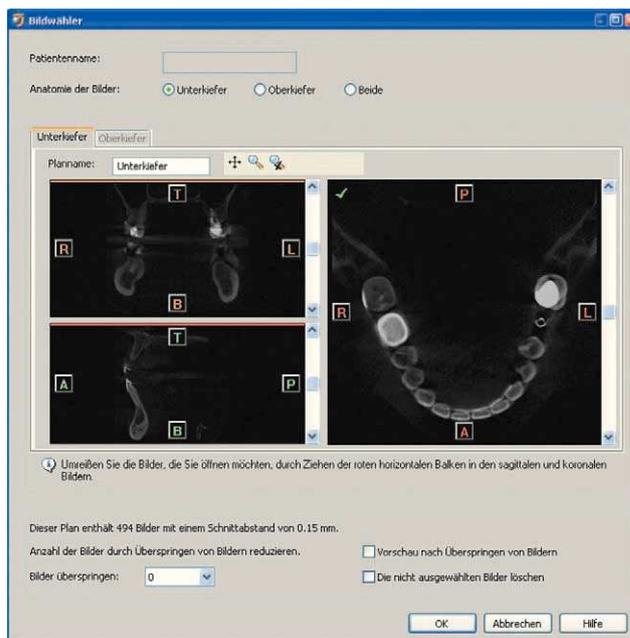


Figura 10. Importación de datos DICOM en SimPlant Crystal.

men. Todas estas «medidas estéticas» tienen lugar después de la transferencia al formato DICOM y, por tanto, no tienen nada que ver con DICOM.

Ejemplo práctico

Las explicaciones anteriores se entenderán mejor a través de un ejemplo concreto. Supongamos que queremos transferir un conjunto de datos TVD del equipo Galileos Comfort (Sirona) al software de planificación SimPlant Crystal Pro (Materialise Dental) a través de DICOM. El software Galileos ofrece por sí solo cuatro maneras distintas de transferir datos al mundo exterior. Dos de ellas generan archivos conformes con DICOM, de manera que

el usuario se ve ante la difícil labor de elegir si y en qué medida quiere limitar/recortar el volumen de datos a exportar (fig. 8) y qué tamaño deben tener los vóxeles (fig. 9). Si las dimensiones elegidas para los vóxeles son mayores que las dimensiones nativas (las calculadas inicialmente por el equipo) o se selecciona la opción «Optimizar contraste», el volumen de exportación se recalcula por completo a partir de los datos brutos. Visualmente esto tiene un efecto doble: por un lado las imágenes tienen menos ruido (son más «lisas») y por otro la resolución es menor porque el «granulado» es mayor. Un efecto secundario positivo es que el volumen de datos es menor y, por tanto, la transferencia es más rápida (ver arriba). Una vez guardados, los conjuntos de datos exportados pueden cargarse a SimPlant Crystal Pro y puede seleccionarse y confirmarse la orientación correcta, la asignación maxilar y las imágenes que se desea importar (fig. 10).

Conclusión

En resumen puede decirse que la transferencia de datos de un sistema a otro es posible en principio gracias al lenguaje de transferencia estándar DICOM. Estudiar a fondo las capacidades, los puntos fuertes y las características concretas de los distintos programas nos permitirá optimizar considerablemente los resultados obtenidos. De ningún modo es posible conseguir un resultado óptimo con solo pulsar un botón. En función del equipo de origen, del software utilizado y del uso posterior previsto (confección de férulas, por ejemplo), los autores utilizan casi 100 flujos de trabajo distintos. Tras más de 16 años de investigación en este campo hemos constatado que nos queda todavía mucho que aprender, aunque podemos afirmar que la conversión de datos entre sistemas es sencilla.