

Planificación virtual y diseño de férulas CAD/CAM en cirugía ortognática: ¿una nueva era?

FEDERICO HERNÁNDEZ-ALFARO

DIETER MAIR

CARLOS MARTÍ

M.^a JOSÉ BIOSCA



F. Hernández-Alfaro

RESUMEN

La gran asignatura pendiente en el manejo de las deformidades esqueléticas continúa siendo la precisión en la planificación y la ejecución. Este hecho cobra máxima relevancia en los casos de deformidades asimétricas. La aproximación virtual que a modo de estudio preliminar presentamos en este artículo permite realizar una evaluación tridimensional del esqueleto y máscara facial. Permite, además, realizar la simulación de las osteotomías y de los movimientos esqueléticos. Finalmente, la transmisión de toda la información del STO a un sistema CAD/CAM permite la generación de las férulas quirúrgicas.

Palabras clave: Cirugía ortognática. Cirugía de modelos. Planificación virtual.

Virtual planning and design of CAD/CAM splints in orthognathic surgery: a new era?

Hernández-Alfaro F, Mair D, Martí C, Biosca M^aJ

ABSTRACT

The big goal unsettled in treatment of the skeletal deformities is the planning precision. This fact is especially important in asymmetrical deformities. The aim in this article is to present a method that allows a three-dimensional evaluation of facial complex. Also, this method permits to simulate osteotomies and skeletal movements. Finally, the STO information transmission to a CAD/CAM system allows the surgical splint construction. Rev Esp Ortod 2006;36:363-70

Key words: Orthognathic surgery. Model surgery. Virtual planning.

Correspondencia:

Federico Hernández-Alfaro
Centro Médico Teknon
Consultorios Vilana. Desp. 185
C/ Vilana, 12
08022 Barcelona

Instituto de Cirugía Maxilofacial Centro Médico Teknon,
Universitat Internacional de Catalunya

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las deformidades dentofaciales ha experimentado un desarrollo notable en la última década. La sofisticación de las técnicas en el ámbito de la ortodoncia y de la cirugía permite en la actualidad resolver deformidades complejas con mínima morbilidad, y en periodos de tiempo relativamente cortos. La aplicación de los conceptos de cirugía mínimamente invasiva a este tipo de tratamientos hace que tratamientos tremendamente traumáticos en otro tiempo se puedan ejecutar en la actualidad en régimen casi ambulatorio¹.

La gran asignatura pendiente en el manejo de las deformidades esqueléticas continúa siendo la precisión. La precisión, por una parte, en la planificación de los movimientos y en la predicción de los resultados y, por otra, en la traslación de los movimientos previstos al campo operatorio².

La explicación a esto radica básicamente en que la valoración de un problema facial tridimensional se realiza con elementos (fotografías, radiografías) bidimensionales.

La incorporación de programas de *software*, que permiten la automatización del análisis cefalométrico, e incluso la simulación virtual de los movimientos dento-esqueléticos, adolecen del mismo problema de la bidimensionalidad.

En la planificación de las deformidades dentofaciales, debemos tener en cuenta que los parámetros sagitales y verticales son subjetivos; es decir, los movimientos esqueléticos que hagamos en estos dos planos resultan de la conjunción de elementos cefalométricos, del análisis facial hecho por el profesional, y de los deseos y expectativas del paciente.

Sin embargo, los parámetros transversales y oclusales son objetivos; es decir, al acabar el caso, la cara tiene que ser simétrica a todos los niveles, y la oclusión tiene que ser perfecta. Estos dos últimos parámetros no están influenciados por criterios subjetivos y, por lo tanto, se pueden –y se deben– ajustar con precisión milimétrica.

La imprecisión en la planificación en cirugía ortognática es un hecho suficientemente documentado en la literatura³. Esta imprecisión es la resultante de la suma de errores acumulados durante las distintas etapas en el diseño del tratamiento quirúrgico. Del análisis facial al STO, y de éste a la cirugía de

modelos, la imprecisión en la transferencia de la información puede condicionar desviaciones importantes desde lo planificado a lo ejecutado. Con frecuencia, estos errores no tienen excesiva trascendencia si se producen en el plano sagital o vertical –una cara 2 o 3 mm más larga o más protruida de lo previsto puede no tener excesivas implicaciones–. El mismo margen de error en los parámetros transversales u oclusales puede producir un resultado catastrófico.

Estos conceptos cobran máxima relevancia en los casos de deformidades asimétricas. En ellos, la complejidad de la asimetría en tejidos blandos y duros hace que los métodos de evaluación bidimensional que hemos utilizado tradicionalmente sean insuficientes, dejando demasiado margen para la intuición, para la habilidad del profesional y, por lo tanto, para el error.

La evaluación clínica y radiológica bidimensional se ha revelado en muchas ocasiones insuficiente para alcanzar los objetivos de precisión que estos casos requieren.

Para intentar paliar las deficiencias que, como hemos expuesto, existen en la planificación clásica, iniciamos hace meses un proyecto con dos fases. En la primera, el objetivo consistió en obtener modelos 3D del esqueleto craneofacial de algunos de nuestros pacientes, y sobre ellos tomar medidas y simular osteotomías, calculando las necesidades en tamaño y forma del material de osteosíntesis, de injertos y prótesis. En la segunda fase, este análisis del modelo real lo sustituimos por un análisis virtual en la pantalla del ordenador, empleando planos virtuales de referencia sobre los cuales tomar medidas milimétricas. En definitiva, desarrollamos una cefalometría tridimensional. El objetivo de la misma fue intentar minimizar o anular los errores en el análisis de la deformidad, fundamentalmente en los parámetros transversales.

En esta segunda fase, además, perseguíamos un objetivo aún más ambicioso: la simulación virtual de los movimientos quirúrgicos, y a partir de dicha simulación, y de nuevo mediante tecnología CAD/CAM, la producción de férulas quirúrgicas.

PRIMERA FASE

El proceso de construcción de modelos 3D incluye la recogida de datos, el procesado de los mismos y la fabricación del modelo.

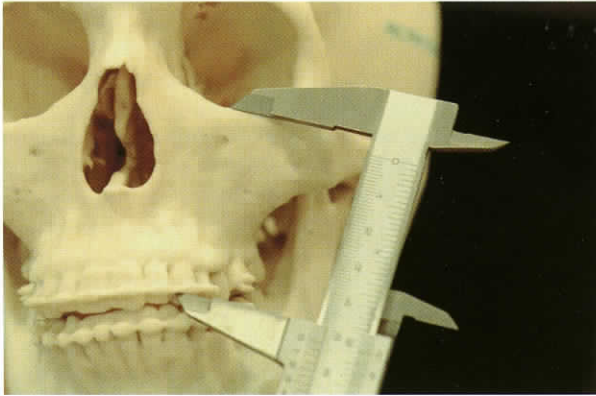


Figura 1. En el modelo estereolitográfico del cráneo es posible realizar mediciones directas en los distintos planos del espacio.

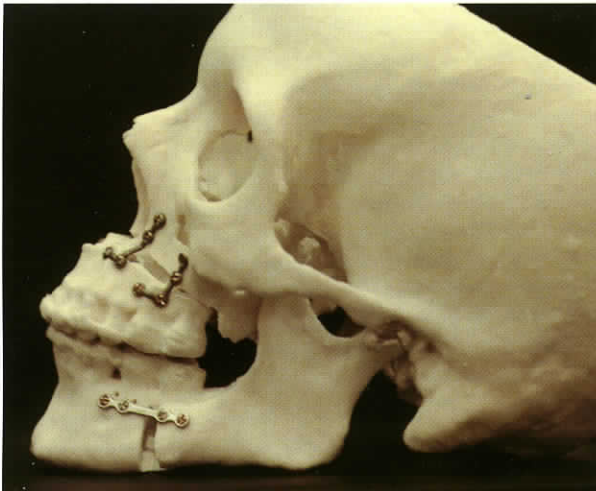


Figura 2. El modelo estereolitográfico permite simular las osteotomías y preformar materiales de osteosíntesis.

La captación de imágenes se realiza mediante una tomografía axial computarizada con cortes axiales de 1 mm. Para reducir al máximo los artefactos producidos por la aparatología ortodóncica, los cortes se realizan paralelos al plano oclusal. Los pacientes son instruidos para colocarse, durante la exploración, una cera de mordida en céntrica realizada previamente.

Las imágenes obtenidas en formato DICOM son transferidas a una estación de trabajo donde se realiza la reconstrucción 3D a partir de los cortes axiales, y se eliminan las impurezas o artefactos de las imágenes.

Esta información es enviada por Internet a un ordenador remoto, que a su vez controla una máquina

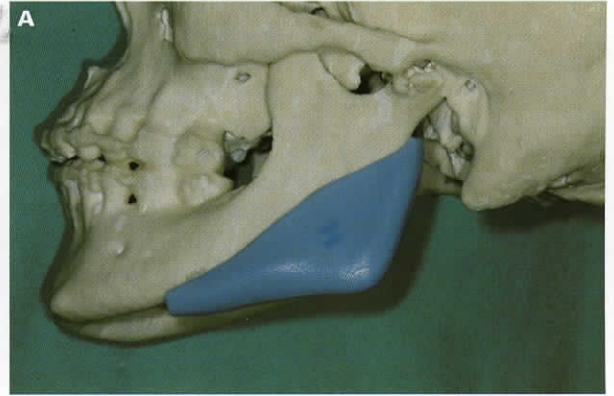


Figura 3. A y B: el modelo estereolitográfico ayuda a determinar la necesidad de prótesis, y elegir el tamaño correcto.

estereolitográfica que, con tecnología CAD/CAM, permite generar el modelo en acrílico, yeso o cera.

Una vez se recibe el modelo craneofacial del paciente, es posible realizar mediciones directas sobre el mismo en los distintos planos del espacio (Fig. 1); además, se pueden simular osteotomías, preformar las placas de osteosíntesis (Fig. 2) y determinar la necesidad y el tamaño de prótesis (Fig. 3).

En esta primera fase, pues, generamos un modelo de tamaño real del esqueleto craneofacial del paciente que nos permite medir y simular tratamientos quirúrgicos.

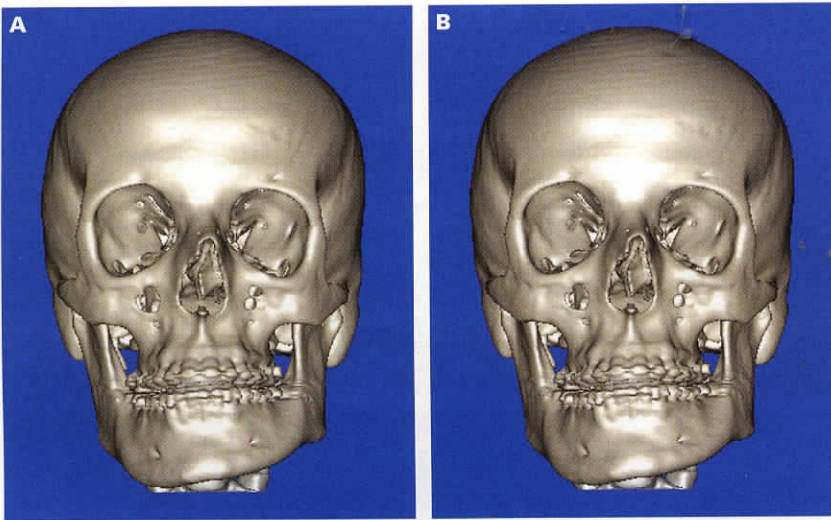


Figura 4. A: la paciente con la asimetría facial completada la preparación ortodóncica prequirúrgica, antes de la cirugía ortognática. B: la reconstrucción 3D mediante el software.

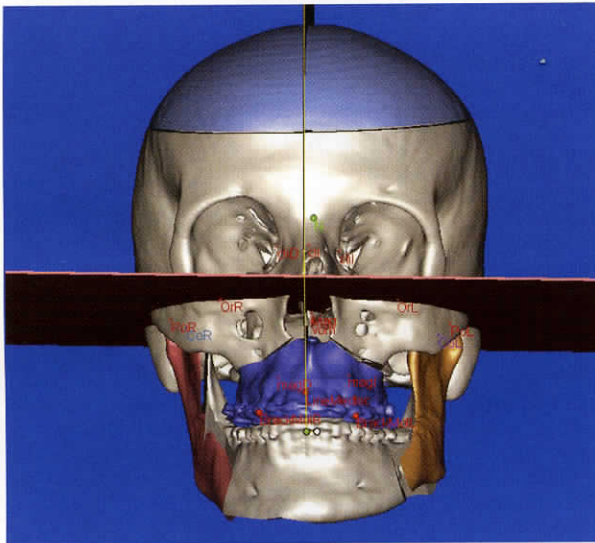


Figura 5. El plano de Frankfurt y el plano sagital, definidos virtualmente, y que servirán como referencia para tomar medidas y planificar movimientos esqueléticos.

SEGUNDA FASE

Mucho más ambiciosa, pues se trataba de –manteniéndonos en todo momento en un plano virtual– analizar tridimensionalmente la deformidad, simular la realización de osteotomías y los movimientos esqueléticos previstos, y, finalmente, generar las férulas quirúrgicas desde una máquina estereolitográfica.

En esta fase de nuestro desarrollo, hemos contado con el soporte del *software* informático Simplant CMF®.

Para ilustrar el sistema, utilizaremos el primer caso intervenido mediante la planificación quirúrgica virtual.

A.M.S. es una paciente de 29 años intervenida previamente de hiperplasia activa de cóndilo derecho mediante un afeitado condilar. Se esperó 1 año después del primer procedimiento para permitir la remodelación condilar y facilitar la corrección subsiguiente de la asimetría facial (Fig. 4). Una vez completada la preparación ortodóncica prequirúrgica, se inicia la planificación del caso.

En primer lugar, definimos los planos horizontal y sagital, desde los cuales se realizarán las diversas mediciones, y en relación a los cuales se practicarán los movimientos quirúrgicos⁴. El plano horizontal puede ser definido como queramos. Nosotros optamos por utilizar los puntos clásicos cefalométricos correspondientes al clásico plano de Frankfort, pero, lógicamente, empleando cuatro puntos (dos infraorbitarios y dos porión), en lugar de los dos habituales de la cefalometría convencional (Fig. 5). En este punto es importante señalar la posibilidad –mediante las herramientas del programa– de modificar angularmente dicho plano para adaptarlo a la posición natural de reposo de la cabeza.

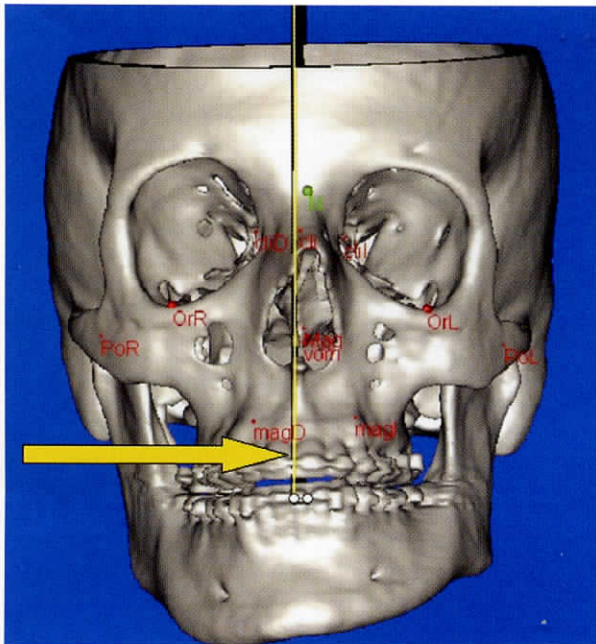


Figura 6. El plano sagital muestra que la línea media superior es correcta.

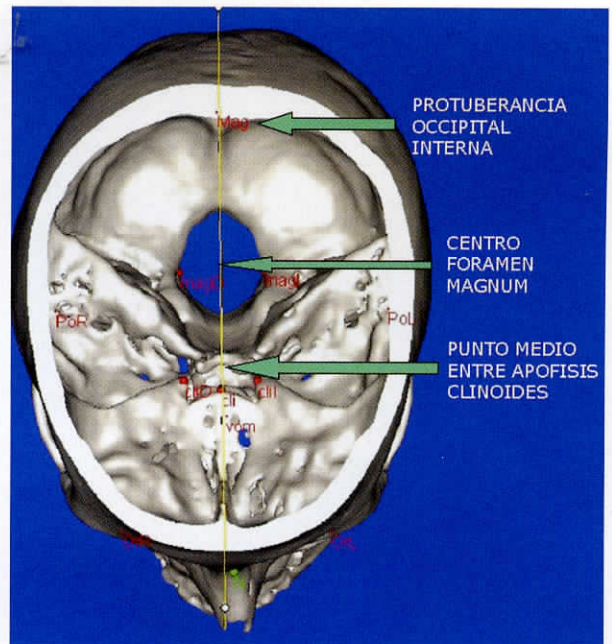


Figura 7. El nasion se encuentra desviado a la izquierda.

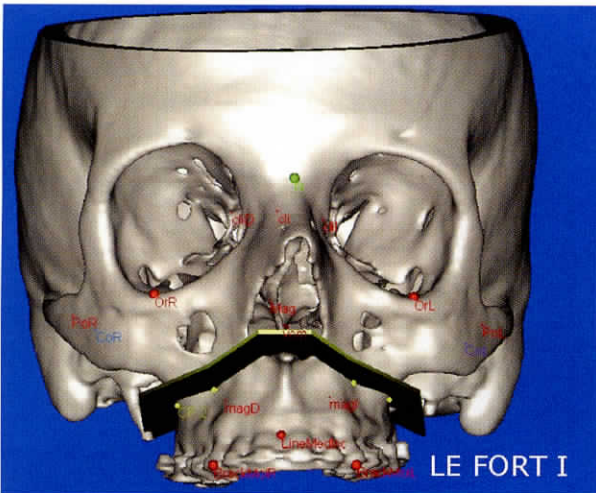


Figura 8. Diseño de la osteotomía de Le Fort I.



Figura 9. Diseño de la osteotomía sagital bilateral de mandíbula.

El plano sagital⁵ queda definido arbitrariamente por el nasión, el punto medio entre las apófisis clinoideas y el centro del *foramen magnum*. Cuando existen alteraciones esqueléticas que afectan a la base del cráneo, y que distorsionen la posición de alguno de estos puntos, buscamos alternativas. Por ejemplo, en el caso que nos ocupa, el nasión se encontraba desviado a la izquierda (Fig. 6), por lo que decidimos

incorporar la protuberancia occipital interna como nuevo punto de referencia (Fig. 7).

El siguiente paso consiste en definir los trazos de osteotomía que deseamos realizar, y practicar la movilización de los elementos óseos (Figs. 8 y 9). Dichos movimientos esqueléticos se realizan en función de nuestra planificación previa. Durante todo el

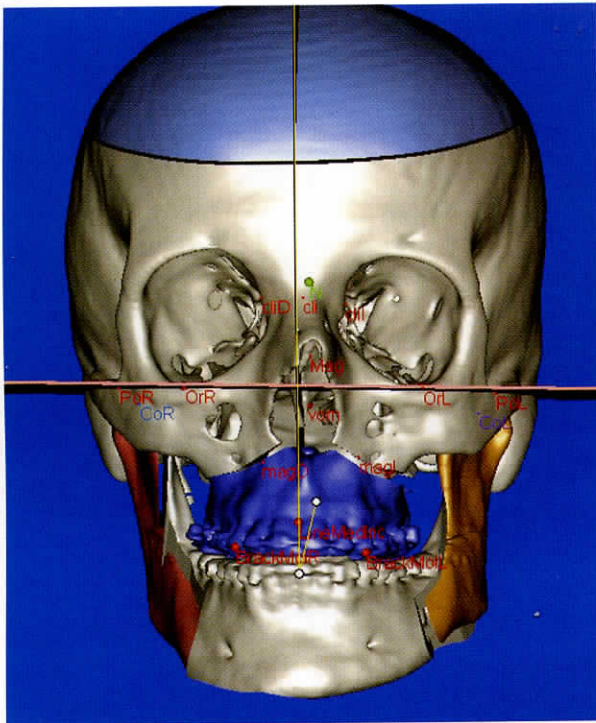


Figura 10. Al final de la simulación los planos antes definidos muestran una simetría absoluta.

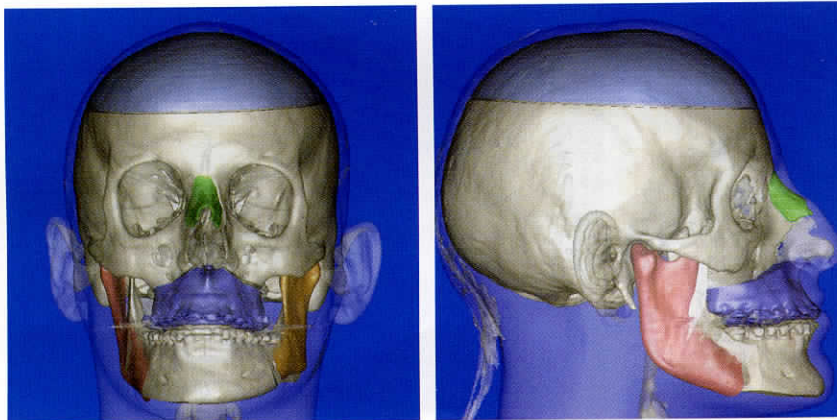


Figura 11. La simulación del resultado a nivel de tejidos blandos.

proceso disponemos de información ajustada a centésimas de milímetro, sobre el rango de movimientos en las tres dimensiones del espacio. Es fácil, por lo tanto conseguir simetría absoluta esquelética respecto al plano sagital (Fig. 10).

Por lo tanto, toda la información sobre movimientos sagitales, verticales y transversales está disponible en todo momento en ventanas complementarias.

El programa permite una simulación también 3D de la respuesta de tejidos blandos a los movimientos esqueléticos. Esta simulación, sin embargo, no nos parece aún suficientemente fiable, y estamos trabajando para mejorarla (Fig. 11).

Hasta ahora hemos visto cómo –sin separarnos del ordenador– hemos conseguido realizar un análisis facial esquelético y de tejidos blandos, mi-

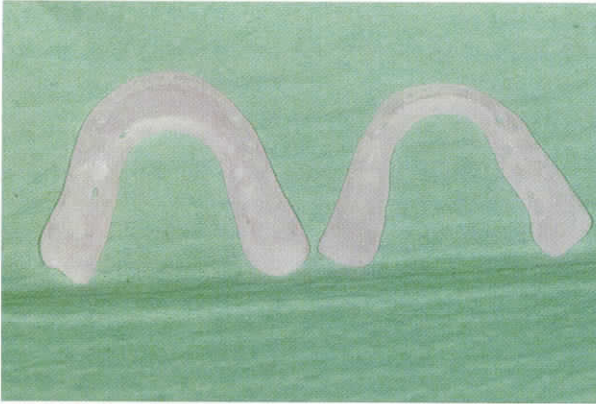


Figura 12. Las férulas quirúrgicas generadas mediante tecnología CAD/CAM.

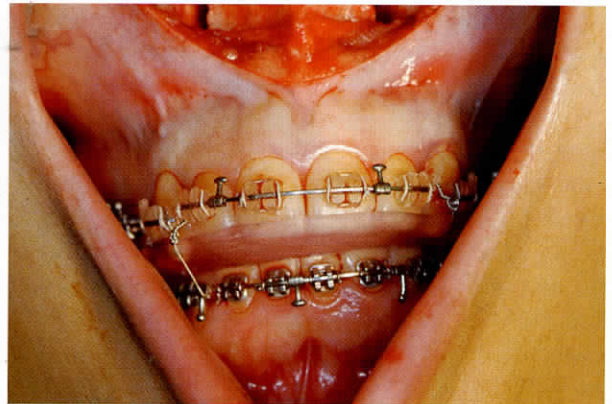


Figura 13. La utilización interoperatoria de la férula.

diendo tantos parámetros como sea necesario. Además, hemos simulado los movimientos quirúrgicos previstos.

La última fase de este proyecto consistió en trasladar a quirófano esta simulación. La información sobre la planificación es enviada por Internet a una *workstation*, donde, mediante tecnología CAD/CAM, se generaron las férulas quirúrgicas estereolitográficas (Figs. 12 y 13). Hemos tenido ocasión de comprobar en los tres primeros casos realizados la precisión de las férulas generadas de este modo, equivalente a las producidas con la técnica convencional.

DISCUSIÓN

Como hemos señalado previamente, la transferencia de información desde el STO (*surgical treatment objectives*) hasta la construcción de las férulas es un proceso sensible, y durante el mismo se pueden acumular errores considerables.

La primera fuente de error es el análisis facial esquelético y de tejidos blandos. Independientemente del método de análisis que empleemos, la fase de análisis frontal requiere precisión milimétrica, especialmente cuando se trata de casos asimétricos.

La aproximación virtual que a modo de informe preliminar presentamos en este artículo permite realizar una evaluación tridimensional del esqueleto y máscara facial. Permite, además, realizar la simulación de las osteotomías y los movimientos esqueléticos.

Otra de las ventajas de este tipo de simulación consiste en la posibilidad de detectar interferencias entre elementos esqueléticos movilizados, necesidades de injertos o prótesis. Es posible anticipar, además, los espacios o *gaps* resultantes de las osteotomías. Hemos comprobado la utilidad que tiene conocer, por ejemplo, el escalón entre fragmento proximal y distal en la osteotomía sagital de mandíbula, y comprobar que este escalón que aparece en la simulación se corresponde con el que provocamos en la ejecución de la cirugía (Fig. 11B). Estos factores, en definitiva, contribuyen a acortar los tiempos quirúrgicos y, por lo tanto, a disminuir la morbilidad de los procedimientos.

Hasta aquí, en definitiva, mejoramos la precisión en la evaluación. Huelga decir que todos los sistemas de análisis cefalométrico deberían ser redefinidos de manera tridimensional⁶.

Además, de una manera más real y más precisa que la clásica bidimensional, realizamos el STO. En todo momento podemos rotar la reconstrucción y evaluarla desde todos los ángulos. Todos los movimientos esqueléticos (impactaciones, avances, expansiones, etc.) provocan variaciones numéricas en las distintas dimensiones. Estas variaciones respecto a los planos de referencia se pueden cuantificar en tiempo real y así comprobar que estamos ejecutando lo planificado.

El paso siguiente y más importante, si cabe, que el anterior es la transferencia de toda la información del STO a un sistema CAD/CAM que permita la generación de férulas.

En la práctica, y una vez el sistema quede perfectamente validado, podremos obviar la toma de arco facial, el montaje de modelos en articulador y la cirugía de modelos, pues todo ello lo haremos, como en este caso, de manera virtual. En este punto las ventajas del nuevo sistema son notables. En primer lugar, no necesitamos tomar un arco facial, pues el plano de referencia horizontal ya lo hemos definido de una manera mucho más precisa con elementos esqueléticos. Ya sabemos que, en las asimetrías, la situación de las fosas glenoideas también puede ser asimétrica. Dicha asimetría es fácilmente detectable en el análisis 3D, y fácilmente corregible empleando nuevos puntos en la base del cráneo.

Han existido intentos de simulación tridimensional de movimientos esqueléticos, que en el mejor de los casos sólo han sido aproximativos⁷.

Con este nuevo sistema, el STO y la cirugía de modelos pasan a ser la misma cosa. Los cambios esqueléticos 3D provocan cambios 3D en tejidos blandos. Ya hemos comentado previamente que estamos desarrollando una nueva fase prospectiva del presente estudio para conseguir fiabilidad suficiente en la simulación de los cambios de la máscara.

¿Qué hay de los movimientos condilares, del montaje en eje de bisagra, etc.? Con este sistema, la posición de los cóndilos en las tres dimensiones permanece inalterada durante todo el proceso. Desde la realización del TC con una cera de mordida en céntrica, hasta la construcción de las férulas, la posición de los cóndilos permanece inalterada. Por lo tanto, no hace falta ninguna simulación dinámica del movimiento condilar. La única limitación de la inmovilidad del cóndilo durante la simulación aparece en los casos en que se realiza descenso posterior del maxilar. En ellos será obligatorio practicar, en primer lugar, la cirugía mandibular –tanto virtual como real– para evitar interferencias posteriores.

Otra limitación del sistema viene dada por las interferencias que provoca la aparatología ortodón-

ica metálica al realizar el escáner. Para soslayar este problema, procedemos a escanear paralelamente los modelos en yeso del paciente y fundirlos con el escáner facial.

En el momento de finalizar este artículo, se han realizado tres casos con este procedimiento. Estamos en pleno desarrollo del sistema, comprobando, de manera prospectiva en una serie de pacientes, que la planificación y obtención de férulas es fiable para, en un futuro cercano, implementarlo a nuestra rutina diaria.

Creemos que esta nueva aproximación a la planificación del tratamiento de las deformidades dentofaciales ha llegado para quedarse. Este artículo constituye una fase preliminar de algo que, sin duda, será el *modus operandi* habitual para estos casos en un futuro próximo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Raffaini M, Hernández Alfaro F, Ghilardi R, García A. The sagittal mandibular osteotomy under local anesthesia and intravenous sedation: four years of multicenter experience. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 2002;4:267-71.
2. Hernández Alfaro F. Férula quirúrgica intermedia en cirugía ortognática bimaxilar: un método simple de obtención. *Discusión. Rev Esp Cirug Oral y Maxilofac* 2004;26:412-4.
3. Ellis E, Tharanon W, Gambrell K. Accuracy of face-bow transfer: effect on surgical prediction and postsurgical result. *J Oral Maxillofac Surg* 1992;50:562-7.
4. Xia J, Samman N, Kit Yeung RW, et al. Three-dimensional virtual reality surgical planning and simulation workbench for orthognathic surgery. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 2000;15:265-82.
5. Grayson BH, McCarthy JG, Bookstein F. Analysis of craniofacial asymmetry by multiplane cephalometry. *Am J Orthod* 1983;84:217-24.
6. Cakirer B, Dean D, Paloma JM, Hans MG. Orthognathic surgery outcome analysis. 3-dimensional landmark geometric morphometrics. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 2002;17:116-32.
7. Chen LH, Chen WH. Three-dimensional computer-assisted simulation combining facial skeleton with facial morphology for orthognathic surgery. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1999;4:140-5.