

MARCE  
923  
FEG  
19738



## PRECISIÓN DE PLANIFICACIÓN VIRTUAL EN CIRUGÍA ORTOGNÁTICA, DESDE LA PLANIFICACIÓN TRADICIONAL 2D A LA 3D

Monografía para la obtención del  
Título de Especialidad en Cirugía y  
Traumatología Oral y Maxilofacial

Residente: Dr. Jorge Figueroa Beltrán

Director Del Programa  
Prof. Dr. Edwin Valencia Mundy  
Cátedra de Cirugía y Traumatología  
Oral y Maxilofacial

Valparaíso - Chile  
2016

## Índice

1.-Introducción.....	1
2.-Planificación y Cirugía de modelos tradicional.....	4
2.1.-Resumen Planificación Universidad de Valparaíso.....	12
3.- Planificación Virtual en cirugía ortognática .....	15
3.1.-Adquisición de imágenes para cirugía ortognática.....	16
3.1.1.-Obtención de imagen para cráneo.....	17
3.1.2.-Obtención de modelos dentarios.....	18
3.1.3.-Captación de tejidos blandos.....	20
3.2.-Procesamiento de los datos.....	24
3.3.-Diagnostico Virtual.....	28
3.4.-Planificación Virtual en cirugía ortognática.....	30
3.5.-Planificación del plan de tratamiento.....	36
3.6.-Confección de splint.....	37
3.7.-Transferencia del plan al pabellón.....	38
4.- Precisión en planificación virtual.....	41
4.1.-Tejidos duros.....	41
4.2.-Tejidos Blandos.....	53
5.-Ventajas y desventajas de planificación virtual en cirugía ortognática.....	59
6.-Conclusion.....	61
7.-Bibliografía. ....	62

## 1.-Introducción

La cirugía ortognática requiere una evaluación precisa de las deformidades dentofaciales complejas del esqueleto craneofacial. El éxito del plan quirúrgico no sólo depende de la exactitud del diagnóstico esquelético y dental de la deformidad sino que también depende inequívocamente de la predicción pre quirúrgica de los movimientos óseos propuestos. Es tarea del cirujano determinar primero la posición original del esqueleto dentofacial y luego estimar la posición deseada y finalmente desarrollar una representación tridimensional de los movimientos necesarios para lograr el objetivo deseado. Tradicionalmente, esto ha implicado un detallado examen clínico preoperatorio, fotografía facial estándar, radiografías cefalométricas con trazados, impresiones dentales y modelos articulados.(Jeffrey A. Hammoudeh, 2011)

Los avances recientes en la captación de imágenes médicas tridimensionales para cirugía ortognática han permitido un gran adelanto y han permitido realizar un diagnóstico virtual sin precedentes así como también evaluación de planificación y resultados del tratamiento de las deformidades maxilofaciales. Sin embargo, para permitir que el clínico realice este complejo cambio de paradigma en la planificación rutinaria de la cirugía ortognática, tanto los sistemas de adquisición de imágenes como el software de planificación virtual 3D deben ser fáciles de usar, de fácil acceso y disponibles a un costo relativamente bajo.(Xsu. 2009) (Brian B. Farrell, Myron R. Tucker 2014)

Para llegar a la etapa actual en la que un enfoque integrado de la cirugía ortognática virtual ha llegado a ser factible, muchos problemas debieron ser resueltos. La imagen en 3D del paciente en posición natural de la cabeza (NHP), la captura de los tejidos duros, tejidos blandos y los dientes, además de ser posible a una baja dosis de radiación. Todas las herramientas convencionales para la planificación de la cirugía ortognática, como la cefalometría, las medidas antropométrica de la cara, incorporación de registros fotográficos, el análisis de modelo dental, la cirugía de modelo dental de yeso y la simulación de tejidos blandos tuvieron que ser desarrolladas e implementadas en una sola plataforma de software.(Gwen R.J. Swennen, 2009)

La imagen es importante en la evaluación y planificación del tratamiento de los pacientes con cirugía ortognática. Su objetivo es mostrar con precisión las estructuras anatómicas de interés para que se pueda realizar un diagnóstico y una planificación apropiados del tratamiento. Tradicionalmente se usan diversas técnicas de imagen bidimensional (2D), incluyendo fotografías digitales y radiografías panorámicas y cefalométricas. Las metodologías de análisis estandarizadas también se usan para describir la información anatómica contenida en las imágenes, tales como mediciones y análisis de cefalogramas lineales y angulares. El cirujano debe asimilar estos datos mentalmente para reconstruir la anatomía tridimensional verdadera (3D) de la región maxilofacial y diseñar un diagnóstico apropiado y un plan de tratamiento quirúrgico para

establecer una oclusión ideal y mejorar la estética facial. Este proceso puede ser desafiante, especialmente para deformidades dentofaciales complejas, porque un conjunto de imágenes 2D geométricamente no relacionadas tienen limitaciones. La imagen 3D crea un paradigma de realidad virtual. Los conjuntos de imágenes 3D de un paciente se pueden introducir en una base de datos común para producir un modelo multidimensional interactivo preciso y específico del paciente. Este enfoque de la imagen maxilofacial puede proporcionar una representación exacta de la verdadera anatomía del paciente. Esta imagen mejorará la precisión en el diagnóstico y la planificación del tratamiento, y tiene múltiples aplicaciones adicionales. (Ron Caloss 2007) (Mah JK, Hatcher D. 2005. )

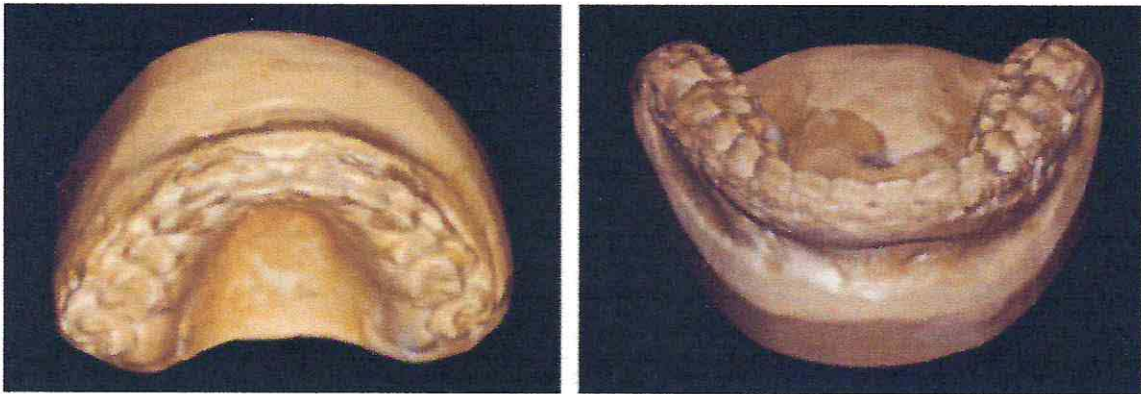
Este trabajo realizará una revisión de la literatura con respecto a la precisión y exactitud en planificación virtual considerando también el cambio de paradigma actual desde una planificación inicial tradicional con su componente 2D a una planificación integral en las tres dimensiones del espacio. Con esto se estudiará el potencial de la planificación virtual 3D y se evaluará cómo la tecnología se puede aplicar a la cirugía ortognática.

## 2.-PLANIFICACIÓN Y CIRUGÍA DE MODELOS TRADICIONAL

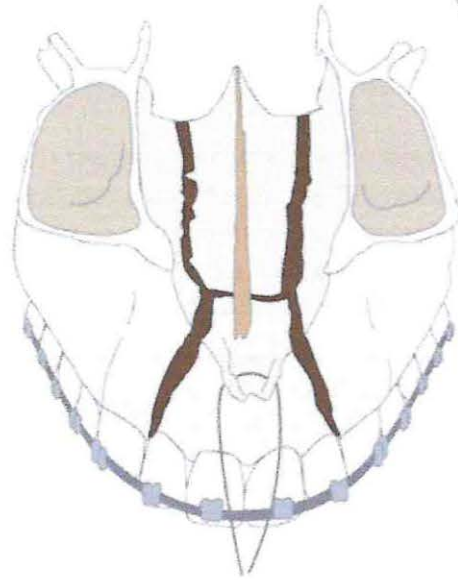
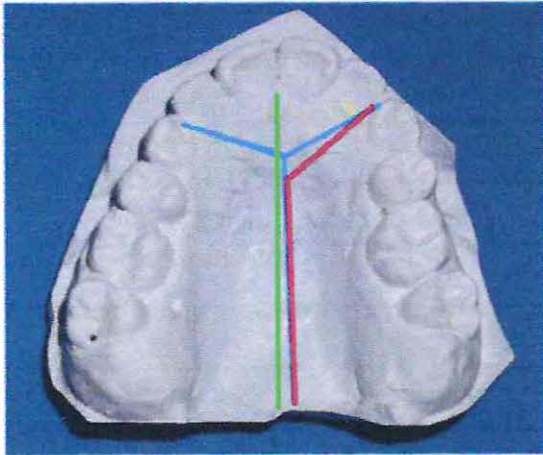
Uno de los aspectos más cruciales en el éxito quirúrgico en cirugía ortognática es que el clínico tenga un dominio de la planificación pre quirúrgica. Dicho esto, sin embargo, es bien sabido que la planificación del tratamiento de la cirugía ortognática es uno de los temas más difíciles en la cirugía maxilofacial. (Bell WH, 1988 ,Epker BN, Turvey T, Fish L)

El método tradicional de planificación pre quirúrgica permite el análisis de diversos factores tales como relaciones oclusales, discrepancias, presencia de sobre mordida, overjet, overbite, las relaciones dentales a nivel de primer molar y del canino. Las imágenes pre quirúrgicas, análisis dental y cirugía de modelo permiten a un cirujano transferir registros obtenidos de un examen pre quirúrgico a un montaje en articulador que luego se utilizará para planificar movimientos maxilares y mandibulares en los tres sentidos del espacio y así corregir deformidades dentofaciales . Realizar una cirugía de modelos facilita al cirujano determinar y entender el plan quirúrgico y así también fabricar directamente splints los que serán utilizados en el momento de la cirugía para obtener movimientos quirúrgicos precisos.

El proceso comienza con el análisis de los modelos de yeso, en este momento se puede ver la factibilidad quirúrgica que tiene el paciente llevando los modelos a oclusión y realizando segmentaciones si fuese necesario (modelos en ventaja), por lo general en la planificación tradicional se cuenta también con un set radiográfico que incluye tres radiografía; una tele radiografía lateral, cráneo completo posteroanterior y por ultimo una radiografía panorámica, con este estudio radiográfico se puede determinar si existen limitaciones en cuanto a pensar realizar segmentaciones en un algún lugar por falta de espacio o limitaciones anatómicas como es presencia de alguna lesión en los maxilares o dientes incluidos



*Modelos de yeso maxilar y mandibular.*



*Modelos de yeso con algunas alternativas de segmentación en verde, rojo y azul, ilustración de segmentación maxilar entre incisivos laterales y caninos.*



*radiografía panorámica, radiografía lateral de cráneo, radiografía postero anterior*

Una vez establecido que el paciente es candidato a cirugía ortognática se realizan mediciones clínicas pre quirúrgicas incluyendo discrepancia oclusal, posición de cúspides caninas, posición molar, líneas medias dentales y faciales, determinar over-jet, over-bite e inclinación del plano oclusal. Las fotografías intraorales y extraorales pueden utilizarse para ayudar a determinar las metas estéticas. La posición de la cabeza en sentido sagital y en sentido vertical puede determinarse tanto clínica como radiográficamente, utilizando

varios planos de vistas y cefalogramas laterales. Bell WH, Jacobs JD, Quejada JG. 1986; Bell WH, Mannai C, Luhr HG. Bell WH, Jacobs JD. Tridimensional planning for surgical/orthodontic treatment of mandibular excess. *Am J Orthod.* 1981;80:263–288.

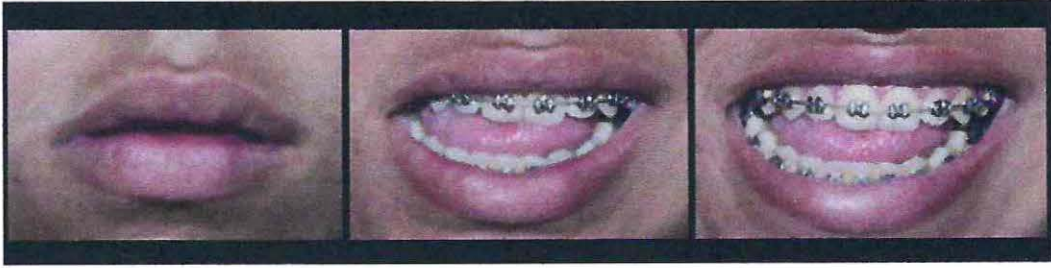
La utilización de buenas fotografías clínicas es siempre necesario, las cuales deben ser suficientes como para permitir una idea general del paciente en los 3 sentidos del espacio además de ser dinámicas y así reflejar el comportamiento del paciente y su componente facial en diferentes situaciones cotidianas del día a día. Debemos contar con un set de fotografías extraorales e intraorales, el que es determinado por el cirujano.



*Ejemplo fotografías extraorales 1.- Fotografías frontal, medio perfil y perfil en reposo y sonrisa social*



*Foto extraoral vista superior e inferior para evaluar simetría facial y proyección paranasal.*

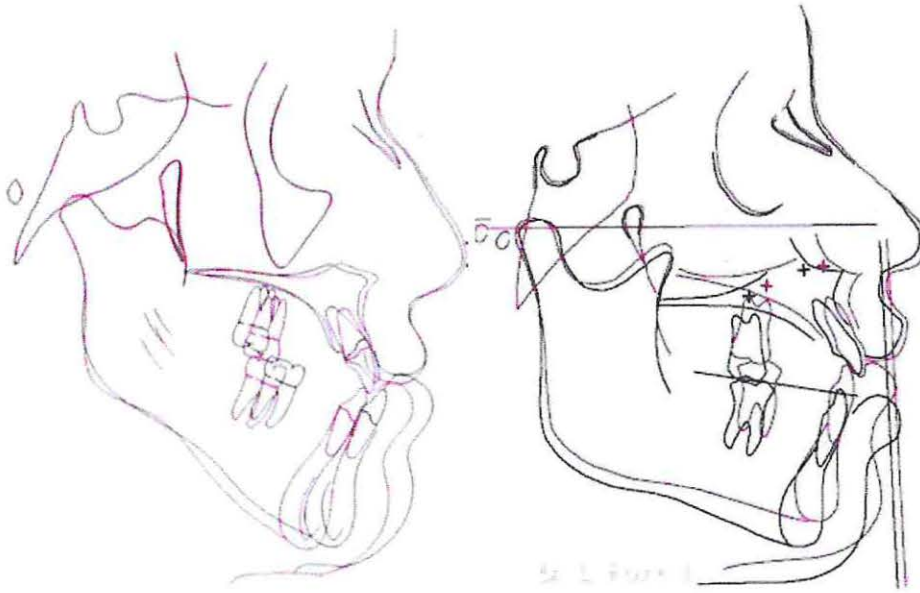


*Ejemplo fotografía extraorales 2.-Reposo, Sonrisa social, Sonrisa Máxima*



*Ejemplo Fotografías intraorales 1.-fotografías intraorales*

En la literatura existen una serie de exámenes antropométricos de la cara que serán de utilidad para el cirujano para establecer en forma objetiva que zona facial se encuentra alterada. En cuanto a las medidas establecidas, se debe considerar el origen de cada una de estas medidas ya que por ejemplo para un grupo étnicamente diverso como la población latinoamericana estas medidas no siempre son parte de la "normalidad". Dentro de la revisión las medidas que mas se repiten son; la medición de los tercios faciales, medición de quintos faciales, proporción del tercio inferior, distancia intercantal y labial intercomisural , ancho del ala de la nariz entre otras. Además de estas medidas antropométricas de la cara se utilizan diferentes exámenes cefalométricos utilizando, en su mayoría, la telerradiografía lateral. Estos exámenes cefalométricos permiten obtener medidas tanto de tejidos duros como del perfil del paciente, una vez obtenidas las medidas que el cirujano establece necesarias para realizar su diagnostico, el cirujano podrá realizar trazados predictivos, que en la literatura se pueden encontrar con el nombre de VTO o STO( *Visual Treatment Objective o Surgical Treatment Objective*), que simulan osteotomías y movimiento de los fragmentos óseos y así también establecer mediante trazados un perfil tentativo para determinado paciente.



*Visual treatment objective, VTO*

En este momento realizaremos el montaje en articulador. El modelo maxilar se monta utilizando un arco facial el que luego será ubicado en un articulador anatómico semiajustable para relacionar el maxilar con la base craneal. La transferencia del arco facial debe captar con precisión la orientación del maxilar para evaluar el ángulo del plano oclusal, el canteo oclusal y la rotación horizontal en sentido sagital del arco. (Park N, Posnick JC. Accuracy of analytic model planning in bimaxillary surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg*)2013.

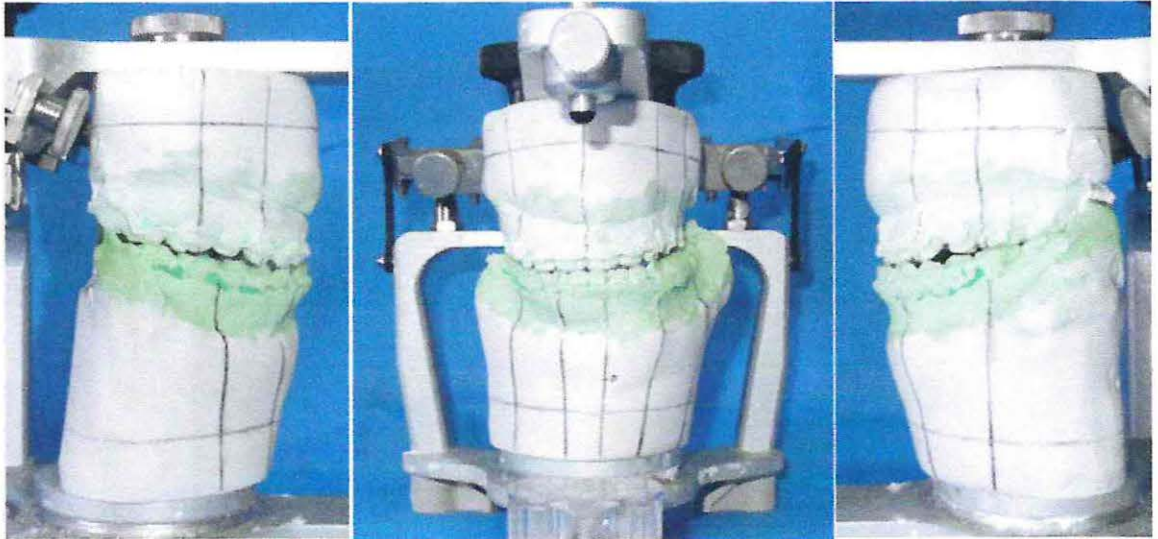


*Arco facial, transferencia de arco facial al articulador*

Luego se realiza el montaje mandibular por medio de un registro con cera en relación céntrica. Existen en la literatura varias formas de realizar este registro, lo tradicional es utilizar cera delar. Con un registro previo anterior dejando inclusión posterior de aproximadamente 2 mm, para luego realizar registro posterior con nueva cera.



*Registro interoclusal con cera Delar para montaje mandibular.*

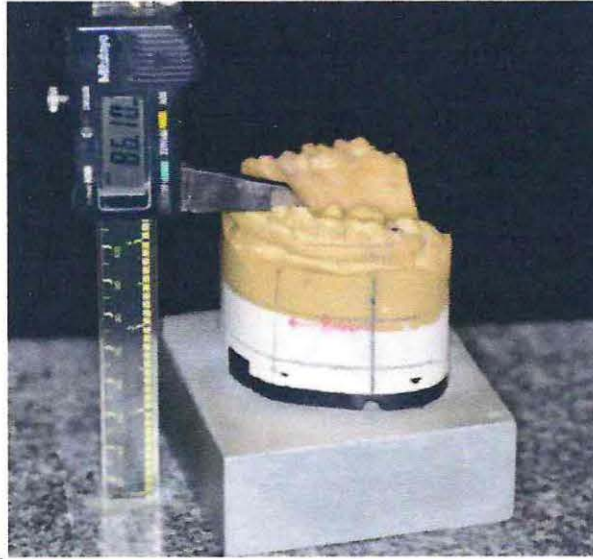


*Modelos Montados, Articulador WhipMix*

Se pueden usar articuladores de bisagra simples si el plan de tratamiento consiste en tratamiento monomaxilar . Para cirugías maxilares y bimaxilares más complejas se debe utilizar un articulador semi-adjustable.(Marko JV. Simple hinge and semiadjustable articulators in orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1986;90:37-44)

Una vez realizado el montaje de los modelos tenemos una visión tridimensional de la interrelación maxilar, mandíbula y la horizontal verdadera del paciente (Posición natural de cabeza, Frankfort o la que utilice el cirujano con el arco facial).

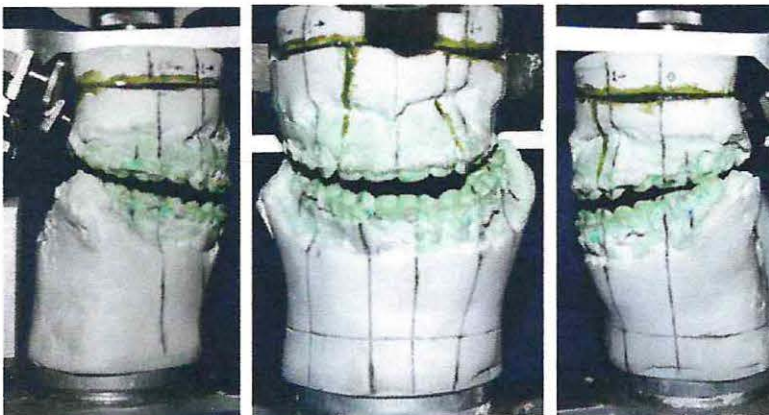
Ahora se procede a realizar marcas en los modelos que nos indicarán el movimiento exacto realizado a nivel de esas estructuras en relación a la planificación quirúrgica, tradicionalmente los puntos que se marcan son: borde incisal Incisivos centrales maxilar y mandibular, cúspide de caninos maxilar y mandibular, cúspides mesiovestibular de primer molar maxilar y mandibular, punto A, ANS, Punto B, Pogonion. Estos puntos son medidos en una platina de Erikson y se realizan medidas de todos estos puntos en los 3 sentidos del espacio.



*Mediciones con Platina de Erickson*

Se corta la base del modelos maxilar y segmenta de ser necesario y se ubica en su posición final según la planificación del cirujano se establece su nueva posición.

Los movimientos de traslación, inclinación, corrección de canteo, expansión o comparación transversal pueden ser cuantificados en comparación con las medidas iniciales. La comparación de estos movimientos puede hacerse usando registros clínicos y cefalométricos según el plan tratamiento quirúrgico.(Henry CH. Modi ed Boley gauge for use as a reference plane in orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 1990, Perkins SJ, Newhouse RF, Bach DE. A modi ed Boley gauge for accurate measurement during maxillary osteotomies. *J Oral Maxillofac Surg.* 1992)



*Cirugía maxilar con segmentación*

Luego se realiza el corte de la base de yeso del modelo mandibular llevando la mandíbula a oclusión estableciendo la oclusión final con la que el paciente saldrá de pabellón. También se pueden realizar medidas de los movimientos provocados



*Cirugía de modelos maxilar y mandibular terminada.*

Durante estas etapas se confeccionan los splint quirúrgicos, dependiendo si es maxilar o mandíbula primero. Siempre se debe contar a lo menos con un segundo montaje maxilar idéntico al montaje utilizado para la cirugía de modelos para realizar el splint intermedio en caso de ser mandíbula primero.



*Splint Intermedio y Splint Final*

Como puede ser evidente con los múltiples análisis y registros que se requieren, existe el potencial de inconsistencias. Estas imprecisiones pueden ser intrínsecas a las medidas cuantitativas iniciales; también pueden ser secundarios a un análisis cefalométrico o diferentes programas para los movimientos predictivos; o podrían ser debido a la naturaleza inherente de la cirugía del modelo, que abarca diversos materiales

y métodos . Estos materiales y métodos incluyen transferencias de arco facial, registros de mordida, impresiones del maxilar y la mandíbula, análisis de modelos de yeso, cirugía de modelos que requiere corte de yeso y posterior reposicionamiento de los modelos en el movimiento quirúrgico predicho. Inherentemente, todos los materiales, métodos y potencial de errores pueden transmitirse e incluso ampliarse durante la transferencia de información en múltiples etapas para obtener el splint intermedio de la intervención quirúrgica. Este proceso es largo y tedioso y requiere comprensión por parte de los cirujanos. Sin embargo, ha resistido la prueba del tiempo en forma exitosa y ha sido un método tradicional de entrenamiento de cirugía ortognática para el cirujano.

A continuación se describirá a modo de resumen la técnica utilizada hasta hoy por el equipo de Cirugía Maxilofacial de la Universidad de Valparaíso.

### **2.1 Resumen planificación UV paso a paso.**

1. Paciente ortodoncico-quirurgico derivado al cirujano por ortodoncista, tratamiento de ortodoncia finalizado. Si el cirujano desea algún movimiento dentario en particular para facilitar la oclusión final (modelos en ventaja) puede volver a derivar al ortodoncista.
2. Tomar modelos de estudio, corroborar factibilidad de oclusión con modelos en ventaja. Verificar necesidad de segmentación maxilar. Corroborar en radiografía panorámica si existe espacio en la zona de segmentación.
3. Si se logra un buen engranaje con modelos en ventaja solicitar el kit radiográfico; Panorámica, Lateral de cráneo, Postero anterior de cráneo, Scanner macizo maxilofacial
4. Ajuste final de oclusión con desgastes selectivos, si fuese necesario.
5. Desprogramación del paciente mediante la fabricación de un Gig interincisal con inserción maxilar que contacte en zona anterior a nivel de todos los incisivos inferiores, en la zona posterior existirá inoclusion del resto de los dientes con una separación de 2mm aproximadamente a nivel de los primeros molares. Este Gig se usa toda la primera semana la mayor cantidad de tiempo posible (retirarlo sólo para comer y realizar la higiene bucal dentro de lo posible)
6. La segunda semana se realiza la extensión del Gig interincisal para transformarlo en un plano.
7. Deprogramación con plano deprogramador, control semanal verificando la pacificación de la musculatura masticatoria, controlar con papel articular que semana a semana se den el máximo de puntos de contacto en el plano, si existe variación se realizará ajustes mediante fresado del plano. El uso es durante todo el día y toda la noche, se retira sólo para comer y para realizar la higiene bucal (dentro de lo posible). El tiempo de uso de este plano varia de un paciente a otro pero generalmente con un mes de uso a conciencia debiese provocar la pacificación del componente muscular y la fácil manipulación del componente mandibular/condilar a relación céntrica.
8. Montaje de modelo maxilar con arco facial en posición natural de cabeza

9. Montaje del modelo mandibular en relación céntrica a través de registro con cera Delar
10. Estudios cefalométricos: Ricketts resumido, Mcnamara, Bjrok jaraback, Burstone y Legan (tejidos duros y blandos)
11. Registro fotográfico extra e intraoral.
12. Mediciones antropométricas de la cara mediante AutoCad.
13. Diagnóstico del paciente.
14. Planificación quirúrgica de movimientos óseos.
15. Se realizan marcas en los modelos de yeso y zócalos, se realizan líneas verticales a nivel de las cúspides vestibulo mesiales de los primeros molares, cúspides caninas, línea media maxilar y mandibular, además 2 líneas verticales en la cara posterior del zócalo de los modelos para verificar los movimientos en el eje vertical. En los modelos marcamos puntos en las cúspides vestibulomesiales de los molares maxilar y mandibular, cúspides caninas maxilar y mandibular, centro borde incisal de incisivos centrales maxilar y mandibular, alternativamente se puede marcar un punto que represente punto ANS, A, B, Pog.
16. Medición de los puntos con platina de Erikson en los 3 sentidos del espacio, vertical, sagital, transversal.
17. Cirugía del modelo maxilar
18. Fabricación de splint intermedio (si fuese cirugía maxilar primero), se realizan perforaciones en caso de dejar splint después de la cirugía (inestabilidad oclusal, segmentación maxilar)
19. Cirugía del modelo mandibular a oclusión.
20. Fabricación de splint final, en caso de ser un caso de mandíbula primero se salta el paso 19 y se fabrica el splint intermedio en este momento utilizando el segundo montaje maxilar y mandíbula operada. El splint final se debe dejar en boca si es que se realizaron segmentaciones maxilares o si existe inestabilidad oclusal.





Mediciones antropométricas de la cara con Autocad.

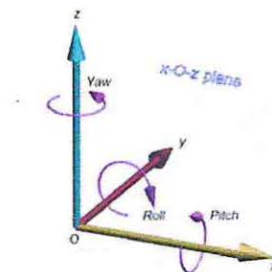
### **3.-Planificación virtual.**

Los avances recientes en la captación de imágenes médicas tridimensionales para cirugía ortognática han permitido un gran avance y han permitido un diagnóstico virtual sin precedentes, la planificación del tratamiento y la evaluación de los resultados del tratamiento de las deformidades maxilofaciales.

Todas las herramientas convencionales para la planificación de la cirugía ortognática, como la cefalometría, la antropometría de la cara, el análisis de modelo dental, la cirugía de modelo dental de yeso y la simulación de tejidos blandos tuvieron que ser desarrolladas e implementadas en una sola plataforma de software. La planificación virtual es una optimización de la planificación tradicional utilizando recursos adicionales, que han sido otorgados por los recientes avances en imágenes medicas a través de archivos DICOM. Estos archivos son tomados por softwares en donde son procesados para formar un modelo de la cara del paciente que incluye un complejo óseo facial, dientes y tejido blando, el modelo es finalmente orientado en los 3 sentidos del espacio según registros clínicos. En cirugía virtual los 3 sentidos del espacio están determinados por ángulos de giro que utilizan los 3 ejes, tenemos Yaw que es ángulo de giro en el eje vertical, Pitch ángulo de giro en el eje latero medial, y el roll que es el ángulo de giro en el eje postero anterior. El cráneo compuesto orientado es nuestro punto de inicio para comenzar la planificación virtual.



*Modelo facial del paciente que incluye, Cráneo, modelos dentarios y tejido blando.*



*Yaw, Pitch y Roll*

Al igual que en Planificación Tradicional se reconocen diferentes etapas para realizar Planificación Virtual en Cirugía Ortognatica (Swennen 2009):

- 1) Adquisición de imagen 3D para cirugía ortognática
- 2) Procesar imágenes para formar modelo facial
- 3) Diagnostico virtual del paciente
- 4) Planificación virtual de cirugía ortognática
- 5) Comunicación del plan de tratamiento.
- 5) Impresión de la guía quirúrgica
- 6) Transferencia de la planificación 3D al pabellón
- 7) Evaluación virtual post quirúrgica

### **3.1.-Adquisición de imágenes para la cirugía ortognática virtual 3D**

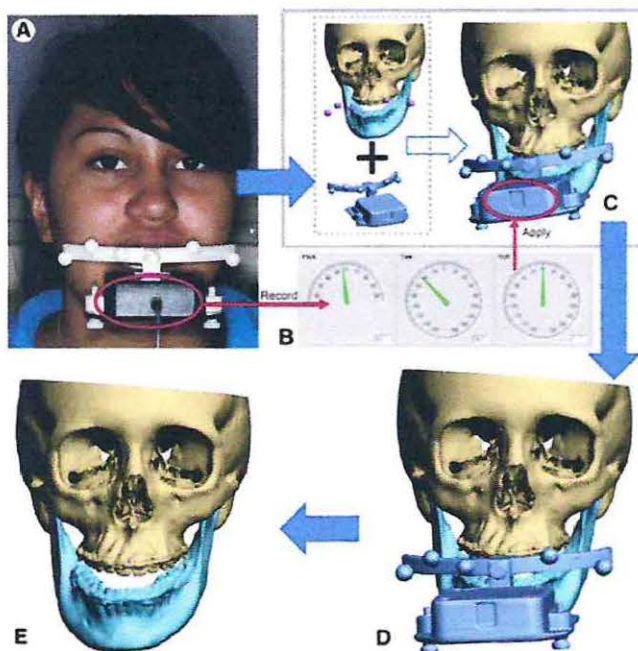
Debemos en este punto considerar, como ya lo mencionamos, que necesitaremos 3

unidades para formar nuestro cráneo compuesto; Tejido óseo(cráneo), modelos dentarios y por ultimo tejido blando.

### 3.1.1 Obtención de imagen para Cráneo

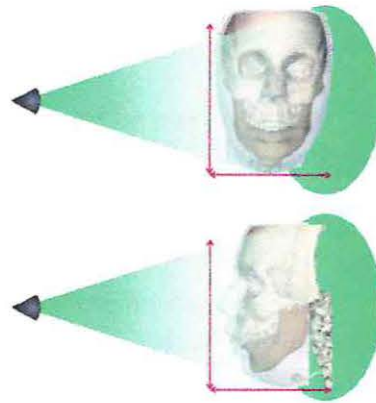
Para permitir una planificación adecuada de la cirugía ortognática, el paciente debe someterse a imágenes idealmente en posición natural de cabeza (NHP, Natural head position) con tejidos blandos faciales relajados. Los CBTC de haz cónico tienen el potencial de escanear verticalmente al paciente con una dosis de radiación baja (De Vos W, Casselman J, Swennen G 2009)

Existen también alternativas para orientar el cráneo compuesto en esta etapa, varios autores utilizan sensores de posicionamiento que entregan la inclinación del cráneo en los 3 sentidos del espacio, pitch, yaw y roll para cada paciente.(Gateno, Xsu, S. Drew)



*Sensor de posicionamiento. Se puede observar la orientación en los 3 ejes.*

Se debe obtener un volumen escaneado lo suficientemente grande para capturar toda la cara (tríada de Tejido óseo, tejido blando y dientes) (Swennen GRJ, Schutyser, 2007.) CBCT es una técnica de adquisición de imágenes volumétricas que ofrece una accesibilidad única debido a sus bajos costos en comparación con la TC multislice (MSCT) y el potencial de obtener imágenes desde una clínica. Lo óptimo para planificación virtual es poder ver; en sentido vertical desde el cartílago tiroides hasta 2cm por sobre el reborde supraorbitario; en sentido sagital debe ir desde la punta de la nariz hasta ambos porion por atrás; en sentido transversal ambos pabellones auriculares.

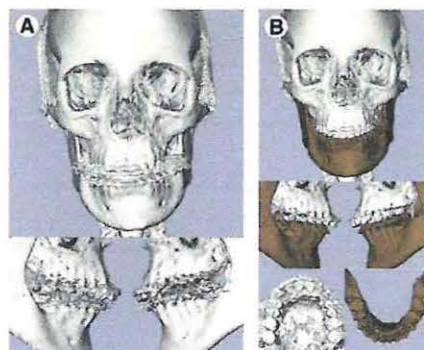


### *Tamaño FOV necesario para la planificación virtual*

El paciente debe tener separación de sus arcadas evitando contactos oclusales, para ello se utiliza algún tipo de separación interoclusal que respete relación céntrica de los cóndilos, especialmente en pacientes que fueron deprogramados, un dispositivo sencillo puede ser un registro de mordida. La separación de las arcadas es necesaria ya que al momento de segmentar las unidades si existe contacto entre las arcadas dentarias se entenderá como una estructura continua y dificultará el proceso de separación entre maxilar y mandíbula. (Swennen 2009)

#### **3.1.2 Obtención de los modelos dentarios.**

Uno de los principales problemas que tiene la captación de la estructura ósea es la cantidad de artefacto que se genera a nivel dentario, CBTC carece de la capacidad de capturar los dientes y sus superficies oclusales con alta precisión. Esto acarrea problemas al momento de querer trabajar con estas estructuras. Es por eso que el registro de las estructuras dentarias se realiza aparte del registro del óseo propiamente tal. Las estructuras dentarias deben ser captadas e incorporadas al cráneo por medio del software.



*A) cráneo con estructuras dentarias irregulares, B) Cráneo con estructuras dentarias exactas*

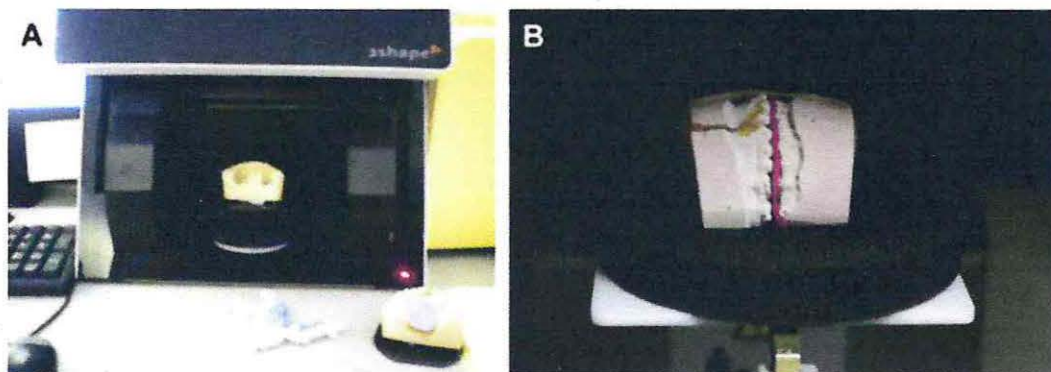
Hay dos métodos generales para producir modelos 3D exactos de las coronas dentales directas e indirectas.

Un método directo de producir un modelo 3D de la dentición implica el uso de una cámara intraoral basada en principios de estructuras de luz. OraMetrix, Inc. (Dallas, TX). Las imágenes se transmiten a un ordenador, donde se registran y se procesan los datos (Hernandez-Alfaro y Cols 2013).

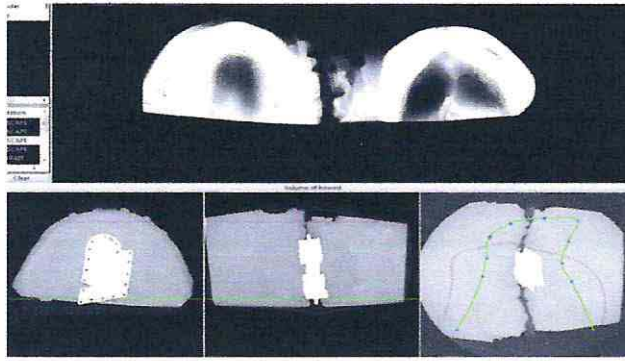
Un método indirecto es por medio de una impresión y vaciado en modelo de yeso para luego ser escaneado en un scanner óptico entregando archivo .STL, también algunos equipos de CBTC o TAC permiten escanear modelos de yeso por medio de un archivo DICOM. (Vargas y Cols 2013).



*modelos de yeso y modelos escaneados.*

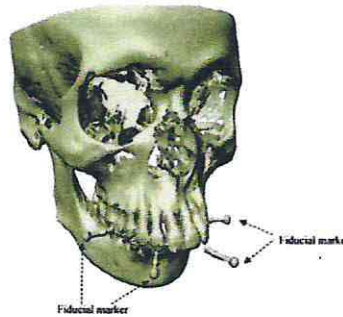
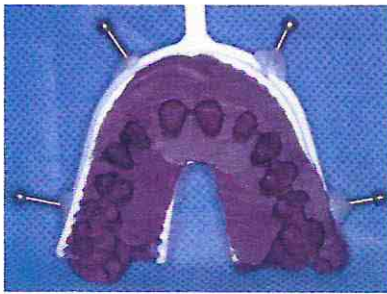


*Scanner óptico para modelos, modelo ubicado para escaneo mediante CBTC*

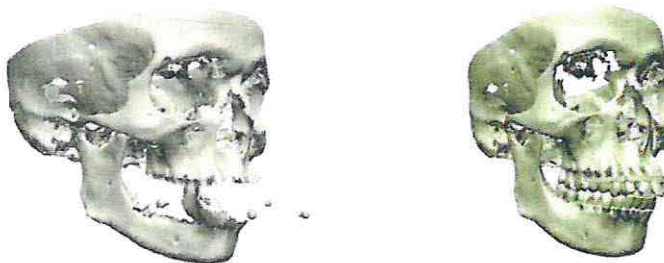


*Modelos escaneados con CBTC, Archivo DICOM.*

La tendencia por diferentes autores (Swennen 2008- 2009)(Vargas 2013)(Nilsson 2015) (Gateno 2003) es intentar incorporar protocolos que permitan en un tiempo captar dientes y cráneo compuesto mediante el registro de ambas arcadas con material de impresión y/o registros de cera que orienten los dientes directamente sobre el cráneo. Esto reduciría la posibilidad de cometer errores en la incorporación de los modelos dentarios en la estructura ósea.



- A) Impresión doble maxilar y mandibular en relación céntrica con marcadores metálicos.  
B) Modelo del cráneo con dientes poco exactos.*



- C) Cráneo B sin dientes. D) Incorporación de dientes obtenidos de escaneo de impresión y orientado en el cráneo por medio de marcadores metálicos. Gateno 2003*

Es importante realizar siempre el registro con scanner ópticos de alta precisión, en caso de utilizar archivos DICOM el tamaño máximo del VOXEL no debiese ser mayor a 0,45mm.

Las mediciones de diente a diente mostraron un alto grado de precisión (diferencia de media, 0,1 mm). Estos hallazgos apoyan el uso del escaneo superficial láser como una forma de obtener modelos dentales digitales precisos directamente de las impresiones dentales. (Lorensen WE, Cline HE: Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. Comput Graphics 21:163, 1987 )

### 3.1.3 Captación de tejidos blandos.

Paralelamente a la adquisición de datos volumétricos por CBCT, algunos equipos CBTC, permiten adquirir información superficial 3D para una visualización más natural y realista del paciente, obteniendo el color y la textura de los tejidos blandos faciales.



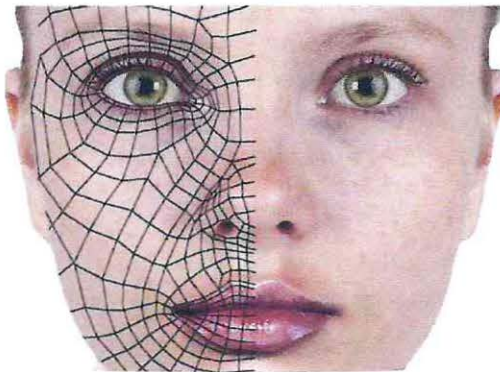
*Tejidos blandos obtenidos con CBTC*

La captación de tejidos blandos se puede realizar también mediante la manipulación del CBTC( que se utilizo para captar el tejido óseo) por medio de manipulación de la escala de Hounsfield podremos obtener visión del tejido blando como superficie. Softwares operador dependiente como Dolphin o Nemoceph 3D permiten estampar una fotografía plana en esta superficie compleja 3D. Este método solo logra una aproximación del tejido blando del paciente, que para fines didácticos funciona, pero no es exacto.



*Manipulación de Escala hounsfield para crear tejido blando.*

Otra forma de captar el tejido blando es utilizando escáner ópticos, la exactitud de estos scanner es bastante buena pero tiene el problema de no ser un proceso rápido por lo que cualquier movimiento del paciente durante el proceso provocara alteraciones en la fidelidad de la imagen.



Autores demostraron que la superficie 3D de los tejidos blandos faciales segmentados y procesados a partir de un CBCT con software Maxilim y Mimics (Materialise) demostró ser precisa en comparación con una scanner óptica. Se evaluó la fiabilidad de las distancias entre marcas faciales y la técnica CBCT muestra una fiabilidad satisfactoria para ser utilizada en situaciones en las que se requieren mediciones lineales entre marcas anatómicas en la cara, como en la evaluación pre quirúrgica y en planificación de cirugía ortognática. No habría diferencias entre realizar la captación de tejidos blandos con CBCT o Scanner óptico. Bernard A. M. M. L. MOERENHOUT (2008)

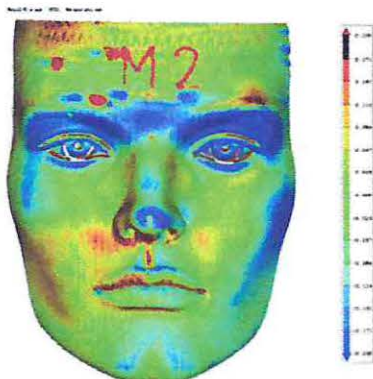


Fig. 5 – M2 Mimics scan versus optical Metris scan, general comparison with colour indication of error magnitude.

comparison Pie - M2: MimicsOQ Versus optical

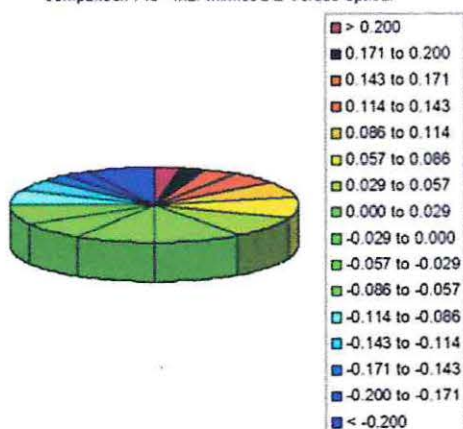


Fig. 6 – Pie chart representing percentage of error magnitude as illustrated in Fig. 5.

### *Superposición de tejidos blandos obtenidos por CBTC y Scanner óptico.*

Las máquinas de TC de detectores múltiples (MDCT) se aceptan comúnmente como el estándar de referencia contra el cual otros dispositivos tienen que competir en términos de precisión geométrica (Mischkowski, 2007). Richtsmeier et al. (1995) concluyeron a partir de su estudio que el error promedio en el posicionamiento de los puntos de referencia anatómicos en tres dimensiones en las imágenes de cortes de TC es siempre inferior a 0,5 mm. Desafortunadamente, las exploraciones MDCT se asocian generalmente con alto costo, volumen y niveles de dosis de radiación relativamente altos (Van Assche et al., 2007).

Los sistemas de exploración láser logran muy buenos resultados para escanear la morfología facial, pero no pueden relacionarse con las estructuras internas. (Kau et al., 2005).

La tecnología CBCT ha sido explotada en máquinas especialmente diseñadas para imágenes de cabeza y cuello. Es capaz de lograr una rápida adquisición de imágenes volumétricas durante un tiempo de exposición en el intervalo de 20e 60 s. La cantidad de exposición a la radiación es menor y la calidad de la imagen es tan buena como la del tejido blando como para la evaluación del hueso (Schulze et al., 2004; Swennen y Schutyser, 2006).

La evaluación de la exactitud, fiabilidad y validez de las mediciones utilizando CBCT no esta muy estudiada. Con el propósito de verificar si las mediciones CBCT eran exactas a pesar de pequeños defectos simulados, Pinsky et al. (2004) concluyeron en su estudio que la confiabilidad es alta para las mediciones lineales digitales.

Lascala et al. (2004) encontraron una subestimación no estadística con mediciones lineales CBCT. Utilizaron marcadores esféricos de metal de 2 mm y registraron grandes distancias (30-100 mm) que podrían explicar mayores errores. Las medidas reales fueron

siempre mayores, pero las diferencias sólo fueron significativas para la base del cráneo.

En los últimos años autores se encuentran realizando registros con fotogrametría, tecnología sofisticada que permite obtener imagen de tejido blando mediante fotografía 3D, estudios han demostrado mejor exactitud con esta técnica en relación a scanner ópticos y CBTC procesados por software. (Stephen A. Schendel 2013)

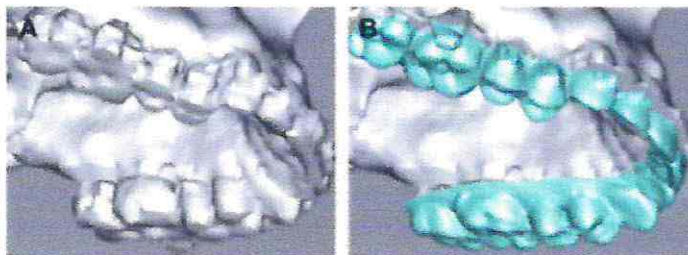


*Puntos de referencia para análisis faciales y captación de tejido blando por fotogrametría, (Stephen A. Schendel 2013)*

### 3.2. Procesamiento de datos.

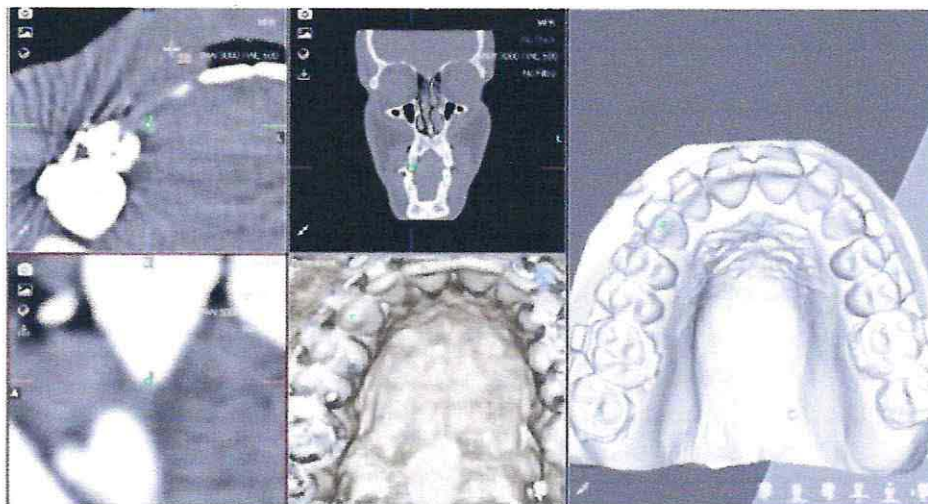
El objetivo de la imagenología virtual 3D para la cirugía ortognática es crear un modelo anatómico virtual del paciente, este modelo anatómico incluye una triada que consiste en tejido blando, estructuras ósea subyacentes (cráneo) y los dientes. Además este modelo anatómico, cráneo compuesto, debe estar orientado en forma correcta, como ya se mencione esta orientación se puede obtener de diferentes formas según el protocolo que se utilice, si el cráneo es registrado en posición natural de cabeza (NHP) el cráneo ya esta orientado, si no fue así, existe la opción de utilizar marcadores clínicos que permiten orientar el cráneo dentro del software.

Para permitir la planificación de tratamiento virtual, los datos de imagen CBCT serán procesados por medio de software que permiten modificar esta imagen inicial DICOM que entrega información en voxeles a un archivo de imagen tetraédrica de superficie .STL.

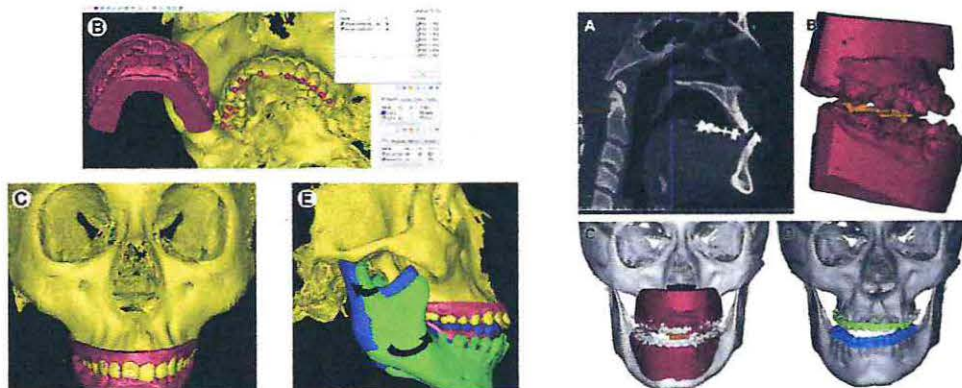


### *Incorporación de los modelos al cráneo compuesto*

La incorporación de los dientes, como ya se mencionó, es necesaria por la cantidad de artefacto que se genera al procesar el archivo DICOM en el software. Esta etapa es crítica ya que una mala ubicación de los modelos dentarios en el cráneo acarrearía errores en el plan de tratamiento, existen diversos protocolos. Lo más frecuente es encontrar protocolos operador dependiente, al momento de procesar las imágenes los modelos dentarios son incorporados por medio de marcas tanto en el cráneo como en los modelos de esta forma se pueden orientar en los 3 sentidos del espacio mediante el manejo del software hasta que el operador observe coincidencia entre las superficies, en los software operador dependiente además de observar la reproducción 3D de los archivos se tiene visión de los cortes axiales, coronal y sagital que facilita la ubicación de los modelos en los 3 sentidos del espacio.



*Nemoceph 3D, incorporación del modelo maxilar al cráneo, cortes axial, coronal y sagital*



Los

*Modelos dentarios pueden ser incorporados en forma separadas o juntos con registros de mordida que orientan y ubican ambas arcadas según la oclusión del paciente*

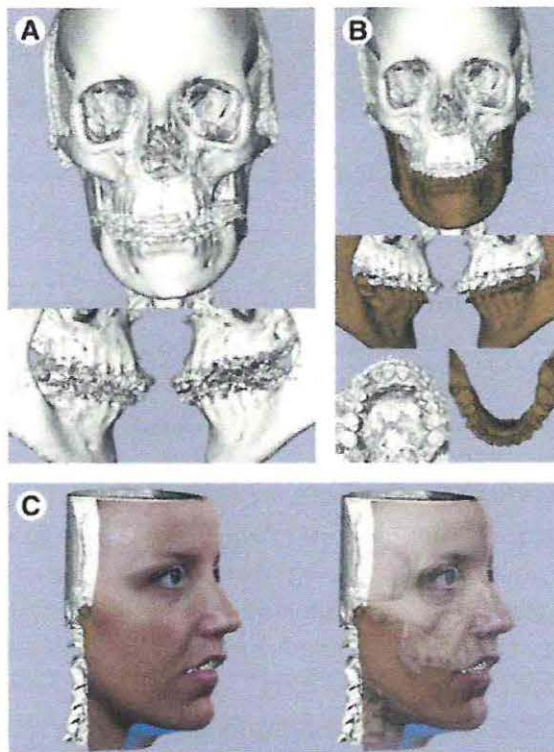
Gateno el año 2003 desarrolla una técnica innovadora que mediante exposiciones de CBCT y utilización de cubetas con marcadores logra orientar y ubicar los componentes dentarios en forma semiautomatizada, sin el uso de modelos de yeso. ( Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, et al: A new technique for the creation of a computerized composite skull model. J Oral Maxillofac Surg 2003)



El año 2009 Swennen utilizando una idea similar a la de Gateno logra desarrollar una técnica para aumentar la precisión del modelo virtual 3D del paciente para la planificación de tratamientos de cirugía ortognática sin el uso de modelos de yeso y sin deformación del tejido blando El método, consistente en un procedimiento de exploración CBCT "triple" con registro rígido triple "voxel", ha sido validado y utilizado clínicamente en más de 200 casos. El protocolo consiste en 1) una primera exploración CBCT del paciente en el Posición natural de cabeza, relación centrada y labios relajados; 2) una segunda exploración CBCT de baja resolución y baja dosis para el paciente con una cubeta de impresión doble en la boca; Y 3) una exploración CBCT de alta resolución de la cubeta de impresión. Después del procedimiento de exploración CBCT "triple", se realiza un modelo virtual 3D del paciente con datos oclusales e intercuspidadación precisos mediante un procedimiento semiautomático y los tres registros consecutivos "basados en voxel" . (A Cone-Beam Computed Tomography Triple Scan Procedure to Obtain a Three-Dimensional Augmented Virtual Skull Model Appropriate for Orthognathic Surgery Planning, Swennen 2009)



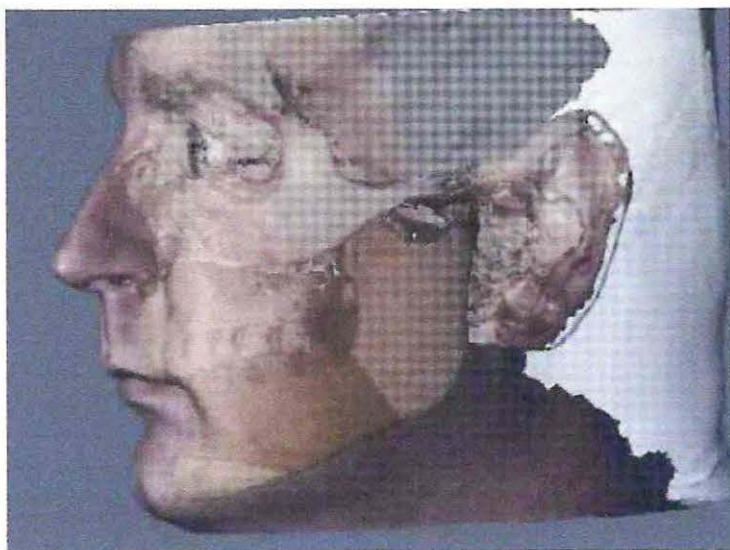
*Protocolo de triple escaneo de Swennen 2009.*



*Formación del cráneo compuesto*

Al igual que la imagen virtual de los dientes la máscara facial de tejido blando también es incorporada. Como ya se mencionó existen diferentes formas de obtener esta imagen. Lo más frecuente es captar estas imágenes es por medio de CBTC. Se puede construir una malla tetraédrica para permitir visualización que los tejidos blandos..(Marchetti C, Bianchi A, Bassi M.2007) , el resultado de esta manipulación da resultados similares al logrado por escaneo óptico de la cara, si bien ambos dan resultados bastante aceptables, no son exactos. Imágenes con fotogrametría logra modelos virtuales

de tejido blando con mayor nivel de exactitud . (Stephen A. Schendel 2013)



*Cráneo compuesto: Tejido óseo, Dientes, Tejido blando.*

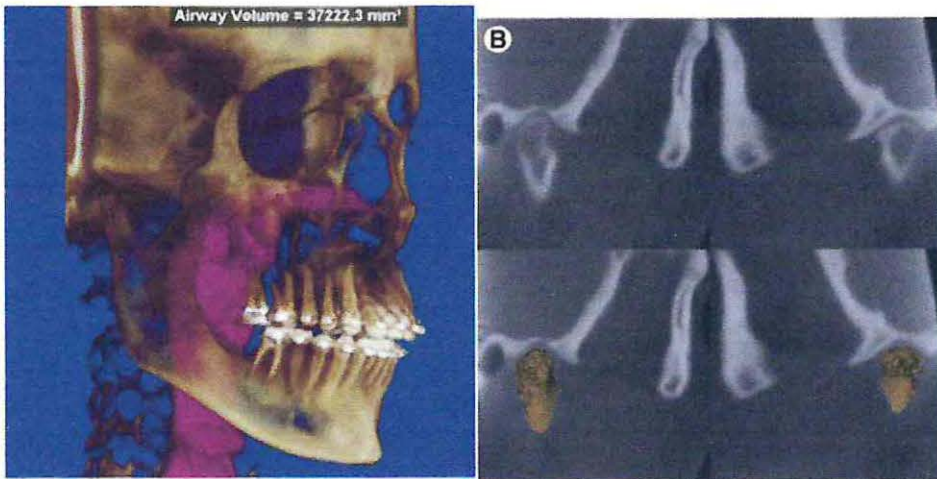
### **3.3 Diagnostico virtual.**

El diagnostico es fundamental para el éxito del tratamiento. Se debe entender la planificación virtual como una optimización de la planificación tradicional por lo tanto se debe seguir realizando un correcto examen clínico con los registros pertinentes para realizar un correcto diagnostico; registros como fotografías clínicas estáticas y dinámicas, modelos para estudio, montaje en articulador, estudios imagenológicos, medidas faciales, y medidas cefalométricas (las que el cirujano estime conveniente) son necesarias.

La experiencia del cirujano juega un rol fundamental en poder llegar a un correcto diagnostico, el software es un complemento en el diagnostico.

La combinación de un buen examen clínico y la inspección tridimensional del modelo virtual de la cabeza del paciente tiene un potencial sin precedentes para el diagnostico del paciente maxilofacial. Tanto el volumen DICOM como la superficie procesada por el software ofrecen una inspección virtual completa en profundidad de la anatomía del paciente. Ambos métodos de visualización incorporan cortes axiales, coronales y sagitales y las reconstrucciones 3D del CBCT, que permiten la inspección bidimensional de la anatomía del paciente en los 3 planos (axial, sagital, coronal). Se puede obtener una gran cantidad de información clínica relevante con respecto al paciente con una malformación maxilofacial en estos cortes (por ejemplo, anatomía condilar, características del hueso, Lesiones odontogénicas, características patológicas del seno maxilar, desviación del tabique nasal, cornetes inferiores hipertróficos, vía aérea restringida, soporte óseo dentoalveolar a los dientes, y la vía del nervio alveolar inferior.

La representación en volumen es actualmente la más adecuada para la evaluación virtual 3D de las raíces de los dientes, las articulaciones temporomandibulares y la vía aérea



El software ofrece un gran potencial para implementar los datos relacionados en el visor virtual 3D, tales como herramientas de medición virtual y osteotomía y dispositivos quirúrgicos virtuales (por ejemplo, splint o guías quirúrgicas virtuales).



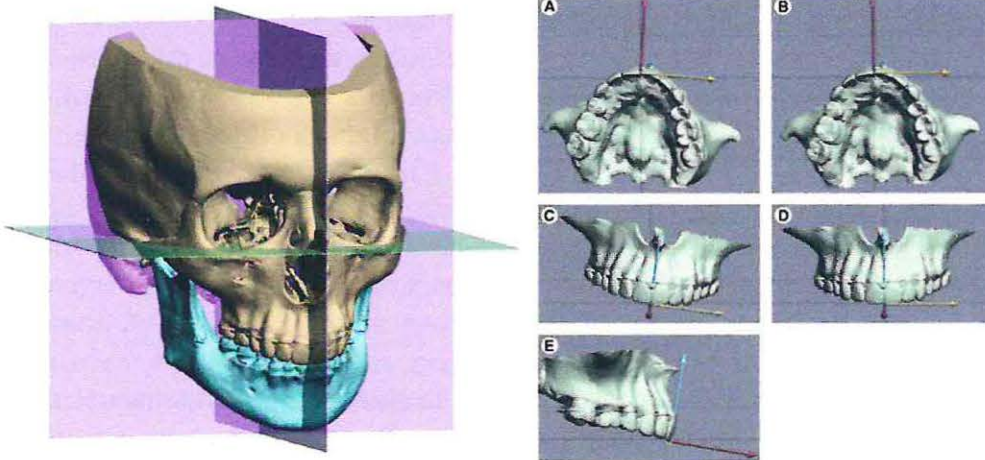
La posibilidad de observar la estructura en los 3 sentidos del espacio nos permite también confirmar la severidad de asimetrías faciales.

Una desventaja actual del enfoque virtual en 3D es el diagnóstico estático del paciente. Recientemente se ha introducido el diagnóstico virtual dinámico (cuatro dimensiones) del paciente (p. Ej., Estética de la sonrisa, hábitos) y probablemente se integrará en el futuro (swennen 2009)

A pesar de las limitaciones de la radiografía los análisis cefalometricos 2D siguen siendo una herramienta clínica fundamental para el diagnostico y tratamiento de la planificación de la cirugía ortognática. El pilar de la cefalometría se basa en que hasta ahora es el único método cuantitativo que permite relaciones espaciales entre estructuras craneales y dentales. (Caloos 2007)

En cuanto al análisis cefalométrico en 3D El año 1994 se Jacobson publica el desarrollo de un análisis cefalométrico en 3D, actualmente varios autores Swennen 2006, Olszewski 2007, Gateno 2011, han desarrollado cefalometría 3D pero ninguno de estos análisis ha sido validado.

Gateno el año 2011 propone un análisis cefalométrico 3D para pacientes de cirugía ortognática, en este artículo el plantea el reconocimiento de estructuras a partir de puntos, esta estructura tendrá una ubicación espacial y una orientación (pitch, roll y yaw) según planos de referencia que se basan en la orientación del cráneo del paciente. Un cambio de paradigma en relación a las cefalometrias 2D que se basan en mediciones lineales, márgenes de ángulos pre establecidos y relaciones entre ellos.



*New 3-Dimensional Cephalometric Analysis for Orthognathic Surgery, J. Gateno, J. Xia 2011*

### 3.4 Planificación virtual de cirugía ortognática.

La planificación del tratamiento virtual 3D permite centrarse en la armonización facial en los tres sentidos del espacio en lugar de en el perfil facial.

Una de las ventajas importantes de la planificación virtual 3D en comparación con la planificación de tratamiento tradicional es que el cirujano tiene mayor información sobre la anatomía del paciente durante la planificación.

El uso clínico rutinario de la planificación virtual en 3D también demostró que la simulación 3D de los tejidos blandos todavía requiere una serie de mejoras y no se puede confiar, especialmente en pacientes con caras largas y asimetrías.

Algunas ventajas importantes fueron experimentadas usando la planificación de tratamiento virtual 3D en la rutina clínica en comparación con la planificación de

tratamiento de cirugía ortognática convencional. En primer lugar, se puede acceder al plano oclusal en 3 dimensiones. La corrección de la inclinación del plano oclusal tiene un efecto importante en el área paranasal, ángulos goniales, bordes mandibular inferior y mentón.

La planificación virtual para cualquier cirugía doble debe comenzar siempre con el maxilar incluso cuando la cirugía mandibular se realiza primero. La razón de esto es que el cirujano está más seguro de dónde debe ir el maxilar. El maxilar operado no debe estar canteado (roll 0<sup>a</sup>) y debe estar bien ubicado con respecto al eje vertical (Yaw 0<sup>o</sup>). La línea media dental superior (punto medio incisal) debe estar en el plano medio-sagital. Y verticalmente, el incisivo exponer lo necesario en reposo y sonriente. (Xía 2015).

La evaluación de la línea media facial se puede evaluar de forma mas acabada, utilizando registros clínicos y marcas que se utilizan durante el proceso de captación de imágenes, esto es especialmente importante en pacientes que desvían el filtrum en sonrisa y en pacientes asimétricos. La línea media dental superior se puede corregir mediante una rotación, traslación o ambas combinadas. Esto tendrá un efecto importante en la simetría de la cara inferior y la armonía facial.

La posición del mentón y la anatomía se pueden evaluar con mayor precisión en 3 dimensiones en los planos frontal (asimetrías transversales y verticales) y base (desviaciones transversales, exostosis, etc.).

Debido a que los fragmentos virtuales proximales de la mandíbula permanecen estables y, por lo tanto, los cóndilos permanecen asentados durante la cirugía virtual, la cantidad de movimiento mandibular (avance o retroceso, en sentido horario o anti horario y medial o lateral Desviación) se puede medir con precisión en ambos lados.

Se pueden evaluar diferentes planes de tratamiento quirúrgico virtual (por ejemplo, rotación bimaxilar en el sentido de las agujas del reloj y en sentido anti horario).

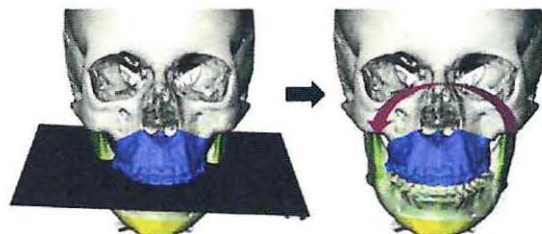
Del mismo modo que se realizan marcas en los modelos de yeso en cirugía ortognática convencional, se realizar marcas virtuales en el cráneo compuesto maxilar y mandíbula, estas marcas varían de un autor a otro pero en general son 2 marcas posteriores a nivel de cúspide mesiovestibular de primeros molares, marcas en cúspides caninos, marcas en borde incisal del incisivo central, punto A, ANS, PNS, punto B y pogonion, estas marcas nos indicaran el movimiento realizado al movilizar el complejo maxilo-mandibular

Landmark	AP	LR	Vert	Total
---Mandib (Model Block)	P/A*	R/L*	Down*	Total
ANS	+8.67	0	+0.94	8.72
PR3	+4.47	+1.73	-4.35	10.52
Upper Incisor Tip Midpoint	+6.00	0	+1.00	6.00
U3 Canine Tip (L)	+6.74	+0.21	+0.05	6.75
U3 Canine Tip (R)	+5.58	+0.20	+0.15	5.56
U6 Mesial Cusp Tip (L)	-7.20	-0.96	-1.90	7.60
U6 Mesial Cusp Tip (R)	+5.53	+0.96	-1.87	5.92
---Mandible (Model Block)	P/A*	R/L*	Up*	Total
Lower Incisor Tip Midpoint	-0.43	+0.41	+3.69	3.73
LE Mesial Cusp Tip (L)	0.67	+0.19	+2.61	2.70
LE Mesial Cusp Tip (R)	-0.38	-0.20	+2.03	2.00
B Point	+0.64	+0.67	+3.41	3.54
Pogonion	+1.37	+0.89	+3.95	3.91
Genioplasty	+0.17	+0.72	+3.66	3.73
---Mandib (AR)	P/A*	R/L*	Down*	Total
A Point	+8.12	+0.13	+0.58	8.14

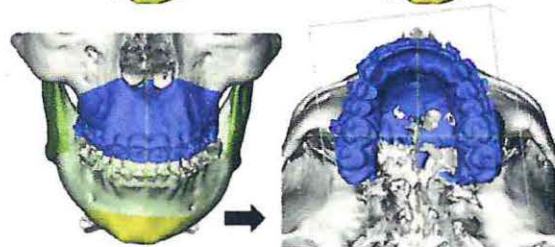
Tabla que indica las marcas utilizadas en planificación virtual, Dolphin S.

Varios autores han propuesto protocolos en planificación virtual, dentro de los autores que mas relevantes en esta área tenemos a Swennen quien el 2014 propone una secuencia para planificación virtual. (Timing of Three- Dimensional Virtual Treatment Planning of Orthognathic Surgery A Prospective Single-Surgeon Evaluation on 350 Consecutive Cases). Enumera en 8 pasos la planificación quirúrgica en cuanto a la orientación de los componentes oseos.

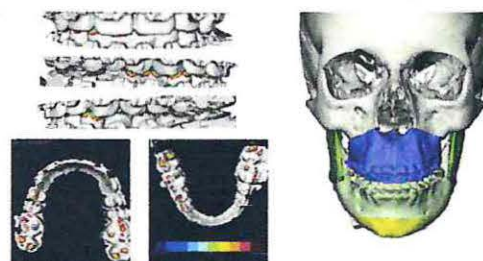
1. Corrección del canteo maxilar. (roll)



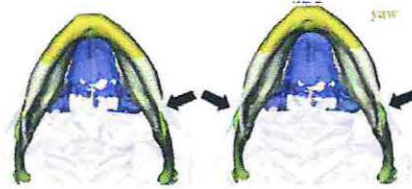
2. Corrección línea media dental superior.



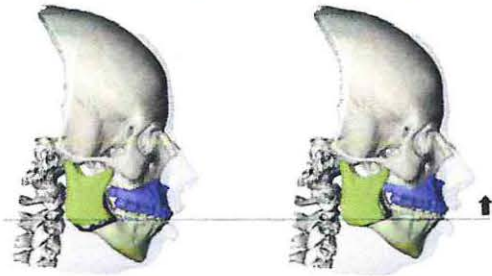
3. Evaluación de la oclusión y simetría facial.



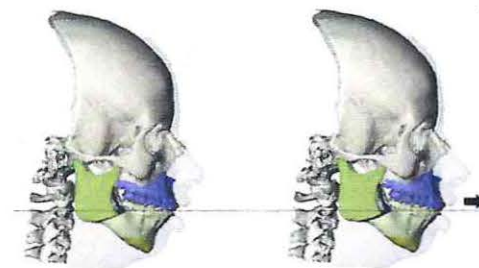
4. Corrección de la rotación en el eje vertical (Yaw)



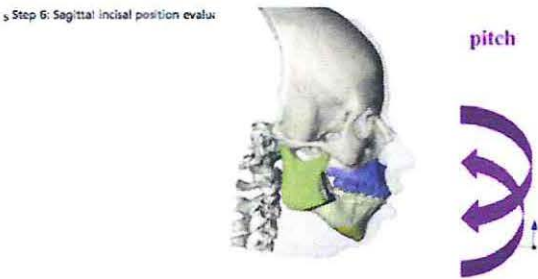
5. Corrección de posición vertical del incisivo



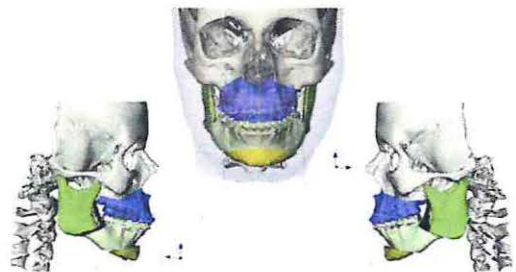
6. Corrección posición Sagital del incisivo



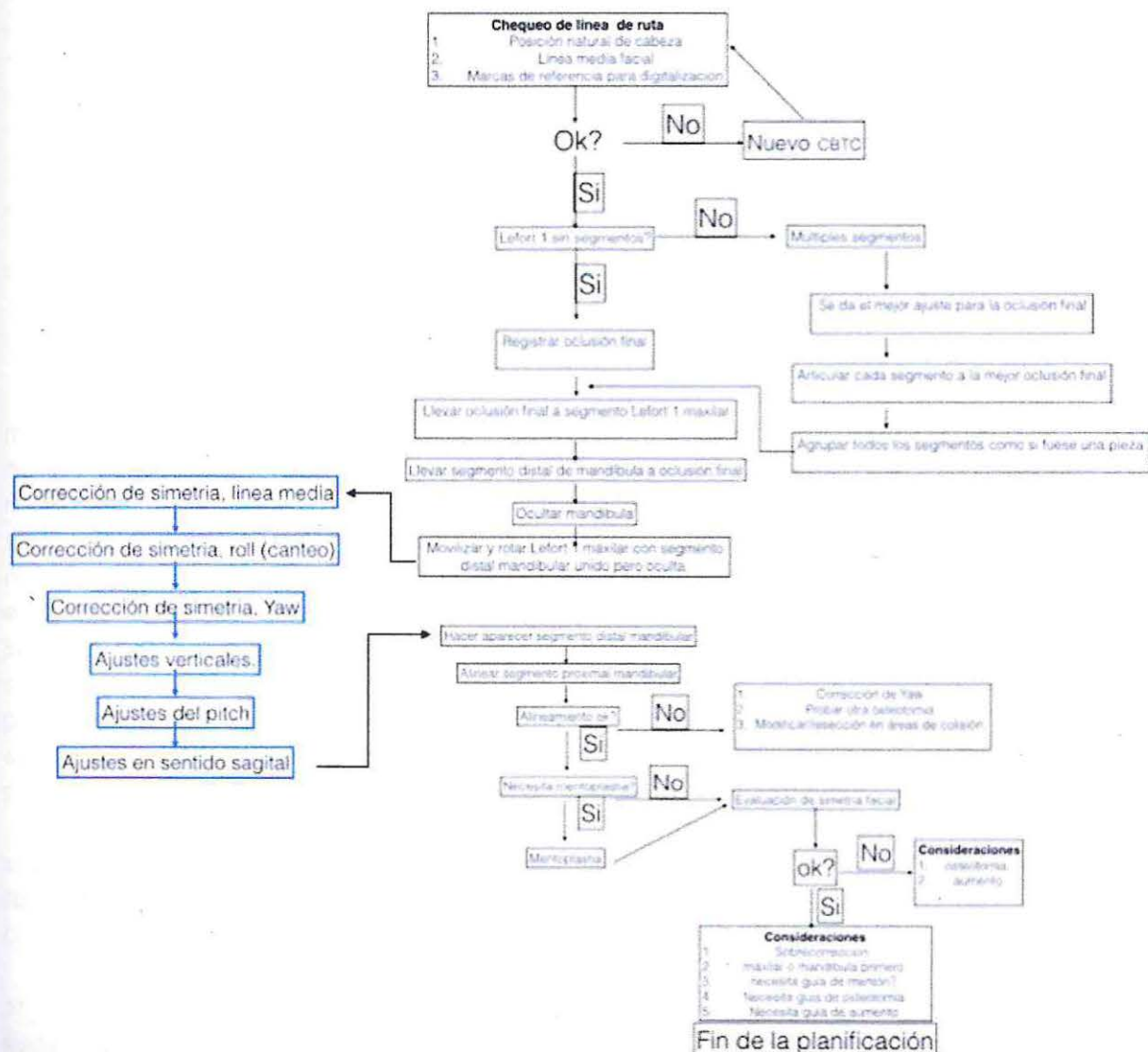
7. Corrección del perfil, inclinación en sentido sagital (pitch)



8. Corrección del mentón



Xia y Gateno 2015 también proponen un protocolo para planificación virtual de cirugía ortognática. Dentro del protocolo desarrollan un flujograma. En esta revisión describiremos detalladamente su protocolo de trabajo.

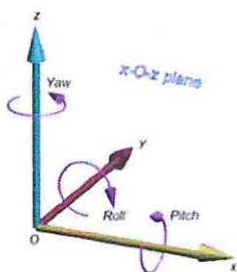


Traducción Flujograma de Xia y Gateno 2015

El flujograma de Xia y Gateno es bastante claro y muestra diferencias entre trabajar con una osteotomía Lefort 1 con segmentación o sin segmentación, además

muestra cuando incorporar mandíbula y cuando ocultarla con el software durante el proceso de la planificación.

Además de los registro de los modelos maxilar y mandibula por separado, realiza registro del maxilar segmentado en caso de ser necesaria la segmentación y un registro de la oclusión final (modelos en ventaja).



*Yaw: Rotacion en el eje vertical, Pitch: rotación en eje latero medial, Roll:rotación en eje antero posterior*

### **Corrección de las deformidades del maxilar (Xia y Gateno 2015)**

La planificación comienza con el maxilar ocultando la mandíbula y moviendo el maxilar en la alineación ideal. Una serie de transformaciones (traslación y rotación) son necesarias para alcanzar esta alineación. Las transformaciones de rotación se realizan mejor en un solo punto, siguiendo una secuencia específica.

Se determinó que el mejor punto en el que todas las transformaciones deben realizarse es el punto medio incisal, el punto en la intersección de la línea media dental y el arco definido por los bordes incisales. Este punto representa el centro del arco dental. Seleccionarlo evita iteraciones. Para el mismo propósito, también hemos establecido la siguiente secuencia de planificación: alineación simétrica, incluyendo normalización de la posición transversal, normalización del roll (canteo), normalización del Yaw (ángulo del eje vertical); (2) normalización de la posición vertical; normalización del pitch (inclinación sagital del plano oclusal); normalización de la posición anteroposterior.

En el primer paso, el maxilar se posiciona simétricamente con el plano medio sagital. La ubicación simétrica involucra tres transformaciones: translación transversal, rotación del roll(canteo) y rotación del Yaw(en el eje vertical). Tanto la corrección del Yaw como el Roll utilizan como fulcrum la línea media interincisal.

Luego se normaliza la posición en sentido vertical. El maxilar se moviliza hacia arriba o hacia abajo, con el objetivo de obtener en una posición ideal en relación al labio superior.

Luego se normaliza el Pitch del maxilar. El fulcrum es ubicado en la línea media interincisal. Este movimiento del maxilar afecta la inclinación de los incisivos centrales superiores, la inclinación del plano oclusal maxilar, el tamaño de la vía aérea, la proyección de la espina nasal anterior y la proyección de la barbilla. Es necesario considerar todos estos elementos al decidir el Pitch ideal del maxilar. Los tres primeros elementos se refieren a la función, los dos últimos a la estética. Con frecuencia, el cirujano

necesita hacer compromisos entre los ítems basados en las prioridades de un caso individual.

Con respecto a la vía aérea, la disminución del pitch maxilar aumenta la proyección mandibular. Cuando la mandíbula se mueve la lengua se mueve con ella, ampliando el espacio de las vías respiratorias. Lo contrario ocurre cuando se aumenta el pitch maxilar.

Al evaluar la proyección de la espina nasal (ANS) y el mentón, aumentando el pitch maxilar (haciendo girar el maxilar alrededor del punto medio incisal) aumenta la proyección de ANS y disminuye la proyección de la barbilla. Aumentando la proyección de ANS gira la punta nasal hacia arriba, ensanchando el ángulo nasolabial. La disminución del pitch maxilar tiene el efecto opuesto.

El ajuste final alinea el maxilar en posición anteroposterior. Este ajuste se realiza por último porque las transformaciones anteriores pueden alterar la decisión de la persona en cuanto a cuánto avanzar el maxilar. Por ejemplo, disminuir el tono maxilar o cambiar su guiñada puede producir una colisión entre las tuberosidades maxilares y las placas pterigoides. Estas colisiones se pueden evitar fácilmente avanzando la mandíbula superior.

#### **Corrección de deformidades de la mandíbula (Xia y Gateno 2015)**

Después de que el maxilar se establece en una posición ideal, se procesa la mandíbula. El segmento distal de la mandíbula estará automáticamente en la alineación final porque se había ligado/orientado previamente al maxilar en la oclusión final (leer flujograma). Cada una de las transformaciones aplicadas al maxilar fue transferida a la mandíbula distal.

En la siguiente etapa, los segmentos proximales de la mandíbula están alineados. Cada segmento proximal se gira alrededor del centro de su cóndilo hasta que el segmento está bien alineado con la mandíbula distal. Idealmente, no debería haber superposición entre los segmentos proximal y distal, la superposición corresponde a áreas de colisión ósea. Cuando está presente, se puede evitar la superposición de segmentos reajustando el Yaw del maxilar y la mandíbula o planificando la resección de las áreas de superposición o planificando una osteotomía de rama diferente.

El reajuste del Yaw maxilar y de la mandíbula distal en uno o dos grados puede evitar la colisión del segmento proximal sin alterar la estética.

Se deben evitar ajustes de más de dos grados, ya que pueden producir asimetría de las troneras o corredor vestibular a la altura de los dientes posteriores en sonrisa.

Con el fin de evitar el desplazamiento de las correcciones anteriores, todo el ajuste de Yaw debe realizarse alrededor del punto medio incisal superior.

Áreas pequeñas de la superposición se pueden solucionar mediante osteotomías. Sin embargo, grandes áreas de sólo pueden evitarse seleccionando una operación diferente (por ejemplo, seleccionando una osteotomía L invertida sobre una división sagital).

### **Corrección de las deformidades del mentón(Xia y Gateno 2015)**

En el siguiente paso, el cirujano vuelve a examinar el mentón. Esta evaluación es necesaria porque el movimiento del segmento distal mandibular altera la posición del mentón. Si el mentón está bien ubicado, el cirujano continúa con el paso final. Si está alterado, el cirujano debe simular una genioplastia, moviendo el segmento mentoniano hasta que esté satisfecho con el resultado.

### **3.5 Comunicación de planificación de tratamientos**

Una de las principales desventajas de la planificación de la cirugía ortognática convencional es comunicar el plan de tratamiento.

La planificación tridimensional de la cirugía ortognática virtual tiene un potente potencial como herramienta de comunicación porque ofrece la posibilidad de visualizar un plan de tratamiento integrado del paciente como un modelo anatómico virtual.

El plan de tratamiento virtual 3D se puede guardar en un formato de visor que se puede enviar por correo electrónico al ortodoncista permitiendo comunicar y discutir el plan de tratamiento.

El enfoque virtual 3D ofrece una excelente herramienta de comunicación para enseñar el tratamiento de la deformidad maxilofacial a residentes de cirugía oral y maxilofacial.

El cirujano puede comunicar fácilmente el plan de tratamiento 3D virtual de un caso difícil a otro colega de todo el mundo con más experiencia para obtener asesoramiento.

El enfoque virtual 3D podría mejorar el conocimiento en todo el mundo sobre las malformaciones maxilofaciales con el aprendizaje y enseñanza electrónica.

Algunas desventajas son que se requiere una estación de trabajo de computadores con buena capacidad gráfica.

Debido a que la simulación de los tejidos blandos en 3D todavía requiere mejoría, en el caso de algunos software, se debe tener cuidado al comunicar esta información al paciente, especialmente para pacientes con caras largas y asimetrías faciales.



Simulación de tejido blando una vez movilizados los segmentos óseo(Dolphin 3D)

### **3.6 Fabricación De Férulas Quirúrgicas 3D**

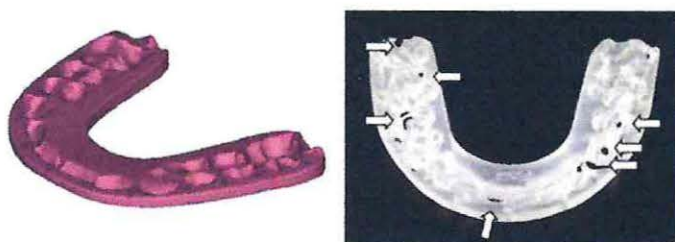
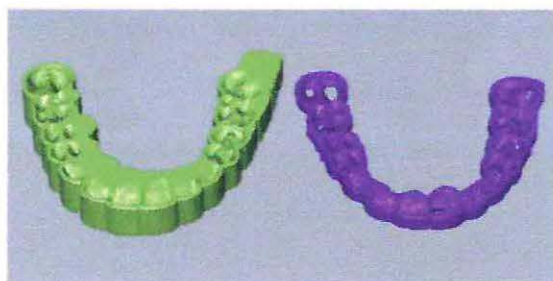
Una vez que el plan de tratamiento virtual a finalizado, se confeccionan los splints quirúrgicos.

Gateno et al 2003 demostraron que las férulas quirúrgicas estereolitográficas coinciden con los splints quirúrgicos convencionales

Los splint quirúrgicos son confeccionado por software en formato STL. por lo que son imprimibles sin dificultad.

Las férulas quirúrgicas realizadas parecen tener las siguientes ventajas: 1) las férulas quirúrgicas se realizan directamente con el modelo 3D virtual del paciente sin el intermedio de los modelos dentales de yeso; Y 2) la férula quirúrgica virtualmente realizada en 3D puede incorporar con mayor precisión el plan de tratamiento quirúrgico, especialmente en casos complejos con movimientos combinados de nivelación, rotación y traslación de la mandíbula.(Hsu 2007)

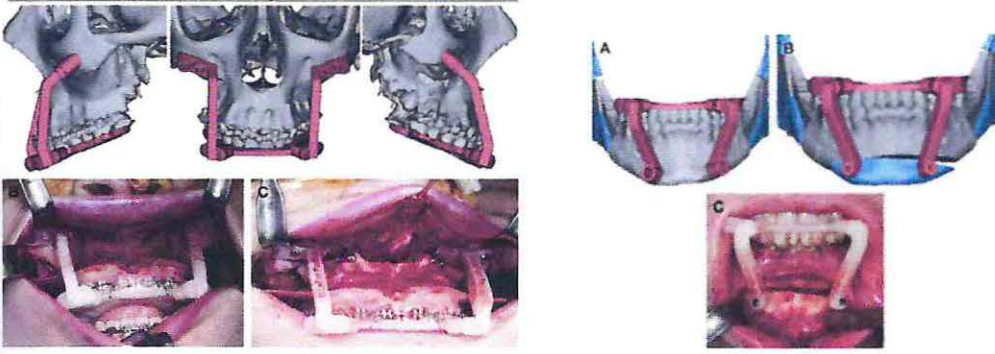
Todavía existen algunos problemas importantes. En primer lugar, el material base para la producción de férulas quirúrgicas 3D debe ser aprobado médicamente. En segundo lugar, las férulas quirúrgicas en 3D siguen siendo demasiado voluminosas y necesitan ser recortadas manualmente por el cirujano, lo cual requiere mucho tiempo. finalmente el envío del archivo e impresión en otro lugar también puede ser un problema.



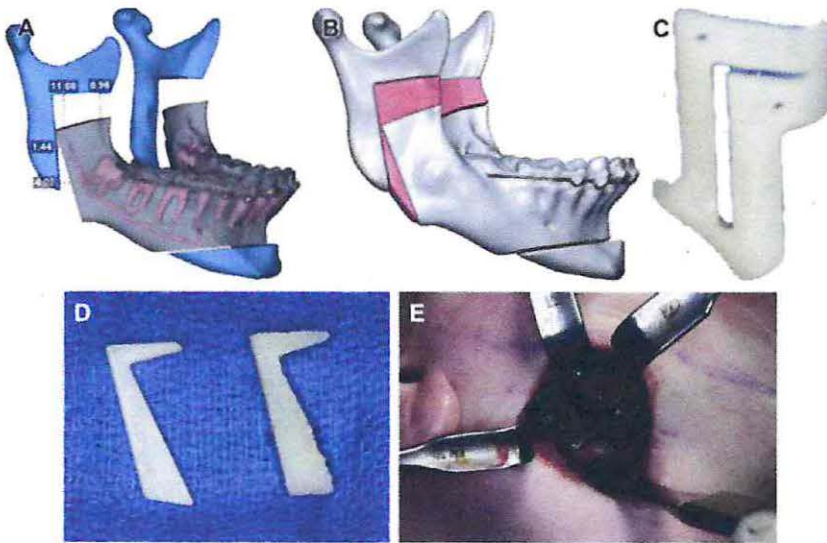
*Splint digital su impresión en STL*

### **3.7 Transferencia de la planificación al pabellón.**

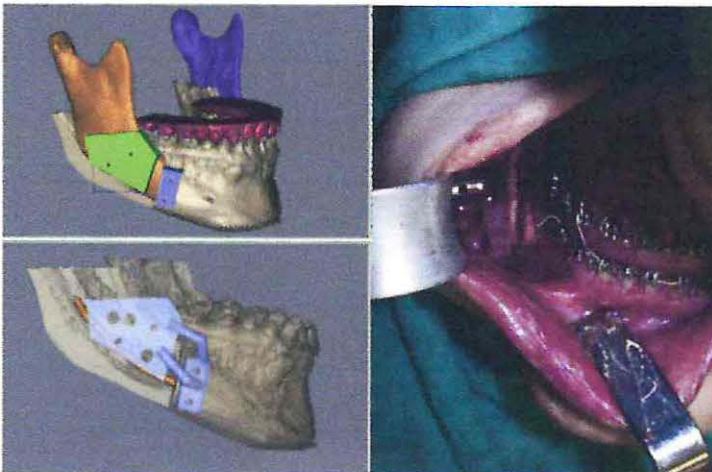
La posibilidad de contar con el cráneo compuesto a dado la libertad de diseñar distintas formas de transferir la planificación al pabellón, varios autores han propuesto guías y plintos quirúrgicos distintos a los utilizados en planificación tradicional intentado optimizar resultados y/o eliminar algunos factores que limitan la predictibilidad de la cirugía. Estos splint aun no se han masificado y no se ha demostrado que tengan resultados mejores que los ya utilizados.



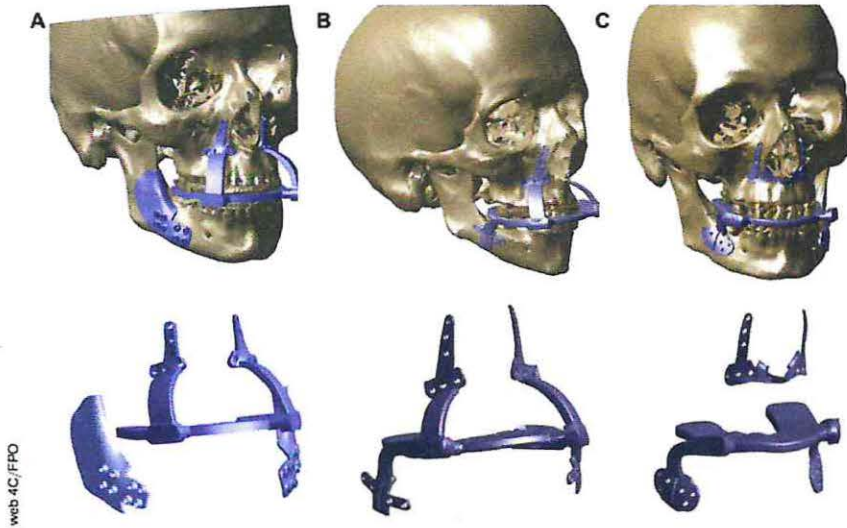
*Splint quirúrgico de lefort 1 independiente de la oclusión. Splint quirúrgico para menton.  
Polley y Figueroa 2013*



*Guía quirúrgica para osteotomía L invertida Ferrel 2014.*

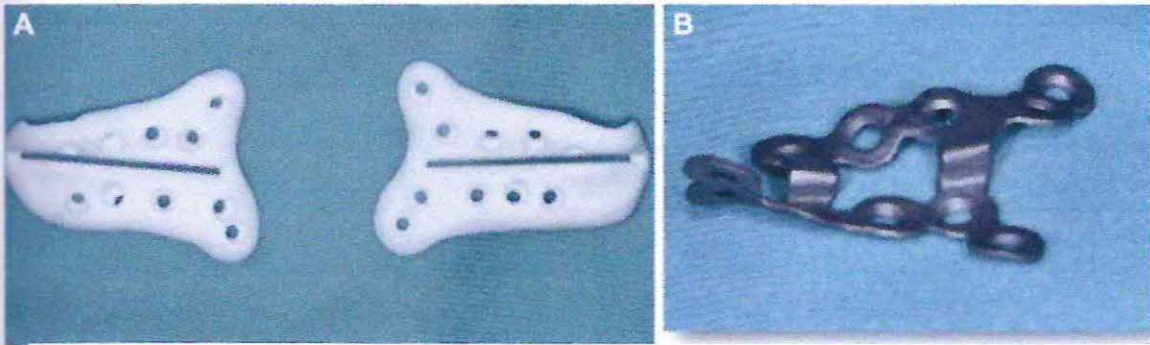


*Guía quirúrgica para OSRB, Barakat 2013.*



*Guías quirúrgicas para lefort 1 y OSRB. Casellas 2016*

También es posible confeccionar placas de osteosíntesis customizadas, que permitan transferir los movimientos de traslación y rotación una vez realizadas las osteotomías con guías quirúrgicas.



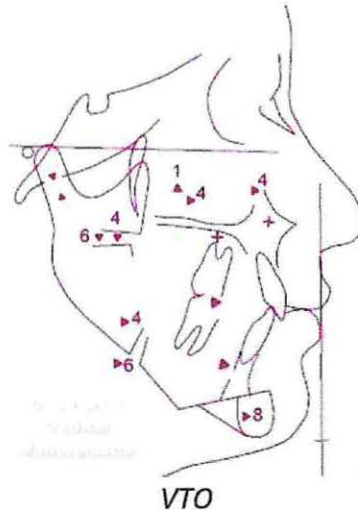
*Mazzoni 2015*



## 4.- Precisión en planificación virtual.

### 4.1 Tejidos duros:

El éxito de la cirugía maxilofacial no depende sólo de las técnicas quirúrgicas utilizadas, sino también de la precisión del plan quirúrgico. Sin embargo, se han identificado problemas significativos en el uso de los métodos de planificación quirúrgica tradicional. Los cirujanos suelen completar un examen físico, fotografías, análisis antropométricos de la cara, modelos de yeso en un articulador semi ajustable, radiografías y cefalometrías. Las radiografías se utilizan para realizar análisis cefalométrico y con estas tradicionalmente se simular la cirugía (VTO- STO). El inconveniente de esta técnica es que es bidimensional (2D) y no puede utilizarse para planear la cirugía para pacientes con problemas en las tres dimensiones. Esto es principalmente importante en pacientes con grandes deformaciones o pacientes asimétricos. (Xia J, 2000 3. Troulis, 2002)



También se utilizan modelos dentales de yeso para simular la operación (cirugía de modelo). Una limitación de esta técnica es que no retrata la anatomía ósea circundante, lo que hace imposible para los cirujanos visualizar los cambios óseos que pueden ocurrir durante la cirugía. (Gateno 2003 5 Santler G. 2000)

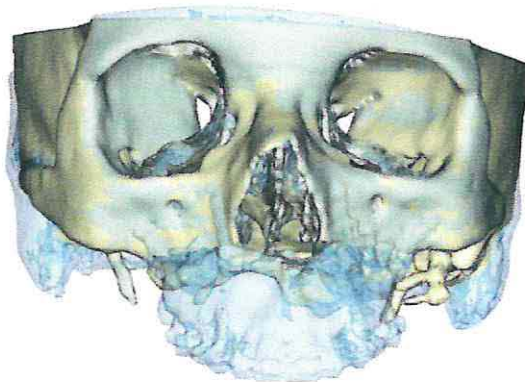


Tradicionalmente la comprobación del resultado clínico se realizaba mediante la superposición de trazados comparando el VTO con el resultado clínico.

En los últimos años varios autores han propuestos distintos protocolos para determinar la exactitud de la planificación virtual. Existen varios protocolos que involucran además de la toma del CBTC para comparar el cráneo compuesto con el control post quirúrgico, cambios en el intraoperatorio sumando guías quirúrgicas innovadoras, mediciones intraoperatorias, control de la situación clínica con el software, incluso la confección de placas de OST customizadas.

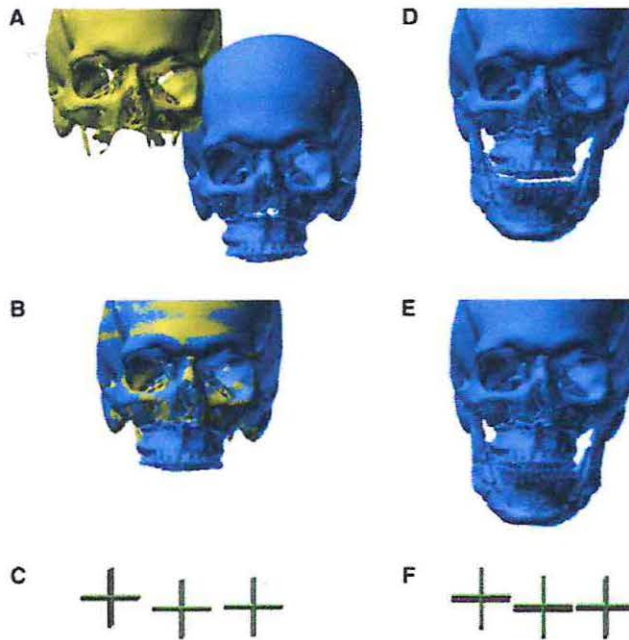
A continuación se mencionaran algunos autores, sus protocolos y hallazgos en cuanto a la precisión y resultados clínicos.

Gateno y Xia (2007) determinan precisión comparando los resultados planificados con los resultados reales. Los resultados quirúrgicos reales se midieron con un CBTC postoperatoria que se obtuvo en las primeras 6 semanas postoperatorias. El intervalo de 6 semanas se seleccionó para evitar el sesgo causado por el posible crecimiento del paciente o el movimiento ortodóntico. Tanto el modelo de cráneo compuesto planificado y el modelo de CT postoperatorio real se importaron en el software. La evaluación de los resultados se completó superponiendo primero el modelo postoperatorio al modelo planificado y luego midiendo las diferencias entre los resultados planificados y los reales. Los criterios utilizados para determinar la exactitud de la técnica consistieron en una diferencia lineal entre los resultados previstos y los reales de menos de 2 mm, y una diferencia angular inferior a 4 ° (Donatsky O, Bjorn-Jorgensen J, Holmqvist-Larsen 1997 Ong TK, Banks RJ, Hildreth AJ 2001 Tng TT, Chan TC, Hagg U 1994 Jacobson R, Sarver DM 2002 Padwa BL, Kaiser MO, Kaban LB 1997)



En el modelo planificado, inicialmente se ocultan los segmentos óseos que habían sido movidos (maxilar y mandíbula). Sólo se visualizaron los huesos que no se habían movido durante la cirugía. Esto se hizo para evitar posibles sesgos del operador durante el proceso de superposición. En los casos de cirugía maxilar, sólo se visualizó la región craneal. En los casos de cirugía mandibular y genioplastia, sólo se visualizó el segmento distal mandibular sin dientes. A continuación, se sometió el modelo de TC postoperatorio en un modo semitransparente y se alineó con el modelo planificado,

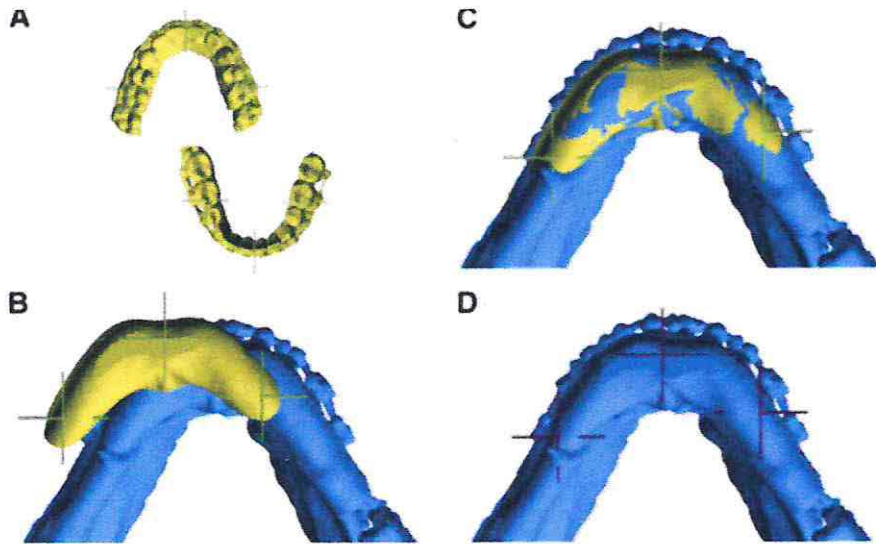
utilizando el método de ajuste de superficie mejorado. Después de que el modelo postoperatorio se había alineado con el modelo planificado, todos los segmentos óseos ocultos del modelo planificado se mostraron.



Para evaluar si el plan quirúrgico fue reproducido con precisión, se adoptó la teoría de que **3 puntos pueden ser utilizados para definir un objeto en el espacio**. Para ello, primero digitalizamos ciertas marcas en cada modelo de TC planificado y postoperatorio y luego comparamos las diferencias entre ellos. En las superficies oclusales maxilares y mandibulares, se digitalizaron 3 marcas: la línea media entre los 2 incisivos centrales y las puntas de la cúspide mesiobucal derecha e izquierda de los primeros molares.

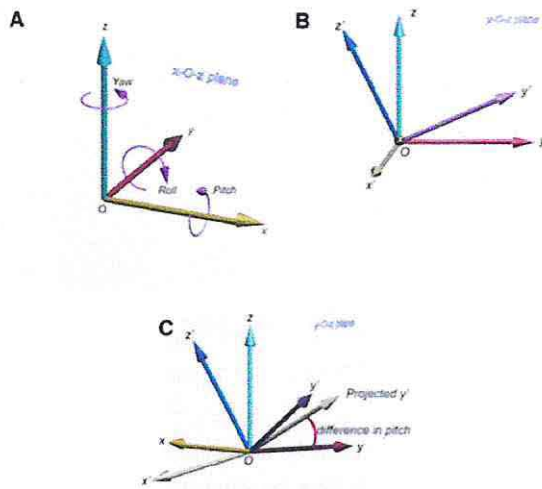
Estas tres marcas fueron entonces conectados para formar un triángulo. Las coordenadas (x, y, z) de los 3 puntos fueron utilizadas para establecer las ubicaciones del maxilar y la mandíbula en el espacio 3D, y los tres bordes del triángulo establecieron su orientación (Pitch, Roll y Yaw).

En cuanto a verificar la precisión en la zona de la genioplastia es más complejo debido a que no se identifican puntos de referencia anatómicos en el mentón, a excepción de los puntos de la línea media (pogonion, por ejemplo), se tomó un paso extra para definir marcas adicionales para el segmento de mentón postoperatorio. Tres puntos fueron digitalizados en el segmento del mentón: el pogonion y 2 puntos en los bordes inferiores derecho e izquierdo. Estos puntos fueron conectados para formar un triángulo. Las tres marcas y el triángulo, que representaban la ubicación y orientación del mentón planificado, fueron entonces adheridos al segmento del mentón. Los puntos de referencia y el triángulo se duplicaron y el primer conjunto quedó oculto. Así el mentón postoperatorio queda con las marcas en el mismo lugar que el segmento mentón de la planificación, pudiendo ser superpuesto ahora a la planificación global del cráneo compuesto.



A) Marcas de referencia en la arcada, B) Marcas de referencia (en verde) en "segmento mentón" de la planificación. C) superposición del "segmento mentón" (con marcas) en mandíbula postquirúrgica. D) Mandíbula post quirúrgica con marcas añadidas (en rojo)

Para el modelo planificado, sólo se mostraron los huesos que no se habían movido durante la cirugía. Se digitalizaron tres puntos de referencia claramente visibles (Nasion y 2 puntos posteriores que pueden ser unión Frontomalar o el punto más bajo de las Apófisis mastoides del temporal.)



Forma de medir las discrepancias angulares (pitch, yaw y roll) por medio de vectores en los 3 ejes del espacio. En el ejemplo se observa la discrepancia en el eje medio-lateral (pitch)

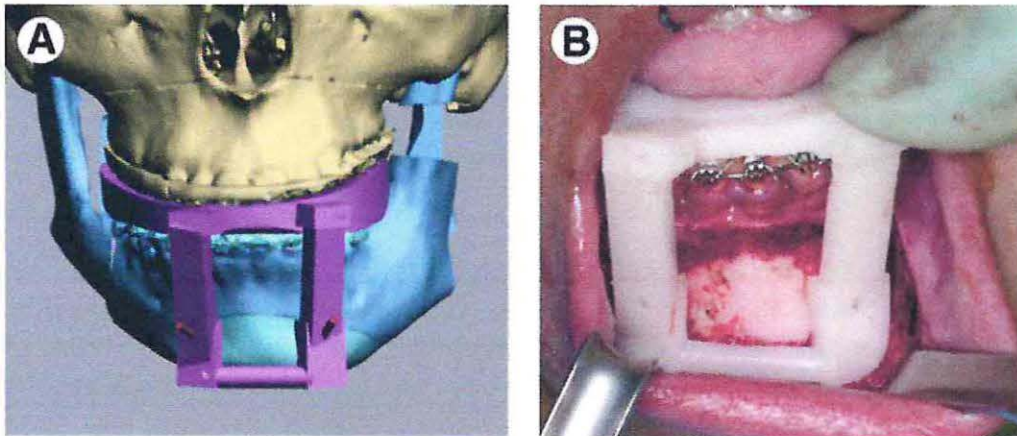
**Table 2. ACCURACY (ROOT MEAN SQUARE DEVIATION) OF POSITIONAL AND ORIENTATION DIFFERENCES BETWEEN THE PLANNED AND POSTOPERATIVE OUTCOMES (MODELS REGISTERED AT THE CRANIUM)**

Positional Difference			Orientation Difference	
Maxilla	Mediolateral	0.8 mm	Pitch	1.5°
	Anteroposterior	1.0 mm	Roll	0.9°
	Superoinferior	0.6 mm	Yaw	1.3°
Mandible	Mediolateral	0.8 mm	Pitch	1.8°
	Anteroposterior	1.1 mm	Roll	1.0°
	Superoinferior	0.6 mm	Yaw	1.7°
Chin Without template	Mediolateral	1.7 mm	Pitch	5.8°
	Anteroposterior	3.5 mm	Roll	3.0°
	Superoinferior	2.5 mm	Yaw	3.9°
With template	Mediolateral	0.8 mm	Pitch	2.2°
	Anteroposterior	1.0 mm	Roll	1.8°
	Superoinferior	0.6 mm	Yaw	1.9°

Hsu et al. Accuracy of CASS for Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2013.

*Variaciones posicionales y de orientación encontrada por Hsu y Gateno.*

Hsu y Gateno 2013 repiten el protocolo usado por Gateno y Xia el 2007 pero además evaluaron la reposición del segmento mentón con un splint, la utilización de splint muestra diferencias significativas en relación al resultado, observando menos variación de orientación y posición.

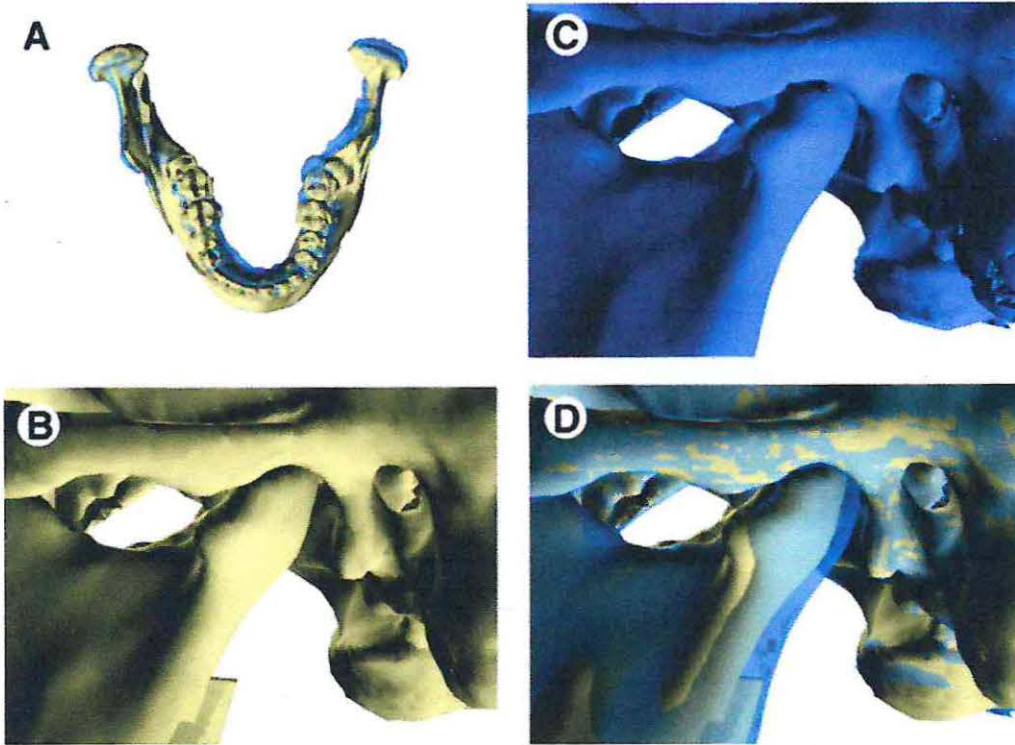


Guía de reposicionamiento de mentón (Hsu y Gateno 2013)

Para el maxilar y mandíbula se encuentran resultados favorables en cuanto a precisión con variaciones lineales y angulares menores a 2mm y 4° en la mayoría de los casos estudiados. (Gateno y Xia 2007)(Hsu y Gateno 2013).

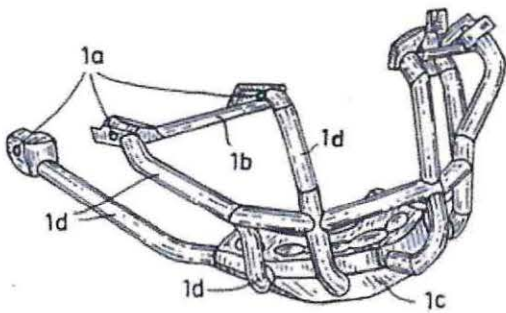
La ubicación en relación céntrica de la mandíbula durante el proceso de captación del cráneo es crucial, si la ubicación esta falseada provocara problemas en el éxito de la panificación. En casos en que se operaba maxilar primero se observo que en los casos en que las variaciones de posición fueron mayores a 2mm y variaciones de orientación mayores a 4 ° existía errores en la posición condilar (cóndilo adelantado). Esto se evidenciaba a través de maxilares retruídos en caso de estar alterado en forma

bilateral o desviaciones de líneas medias en caso de ser unilateral.

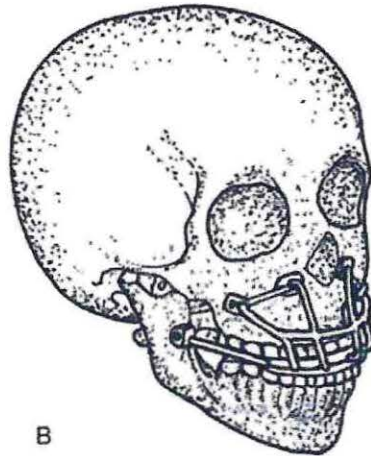


*En amarillo: cráneo compuesto con cóndilo adelantado, En azul: cráneo post operatorio con cóndilo en relación céntrica.*

Zinser 2012 realiza evaluación de la exactitud en el resultado de 8 pacientes clase III planificados con protocolo virtual, el protocolo virtual de Zinser es innovador, el sugiere utilizar 3 splints, el primer splint identifica la zona de la ostetotomía en maxilar, puntos de referencia para ubicar el segundo splint y estabiliza el segmento mandibular por medio de una tope en el borde anterior de la rama. Luego de obtener el corte determinado utiliza un segundo splint que ubicara el segmento maxilar en la posición planificada, utiliza tanto la oclusión del paciente como puntos esqueléticos para disminuir el error por inestabilidad mandibular.

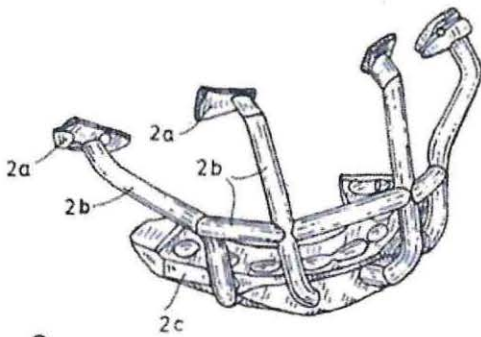


A

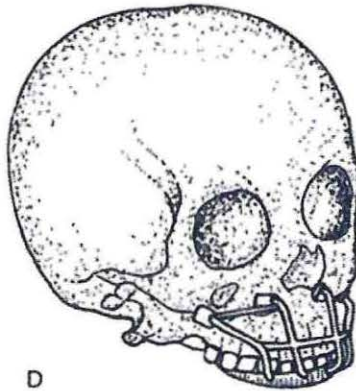


B

*Primer splint de Zinser*

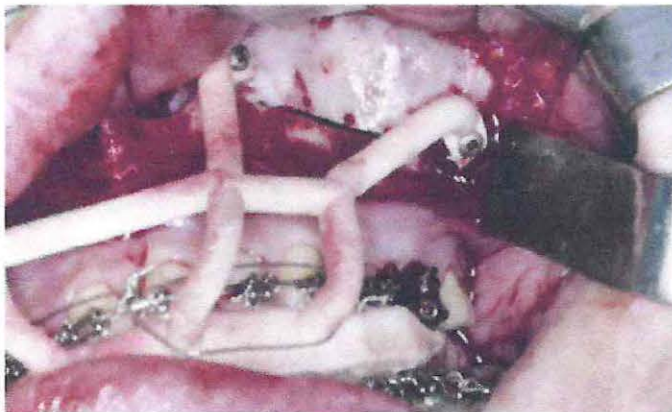


C



D

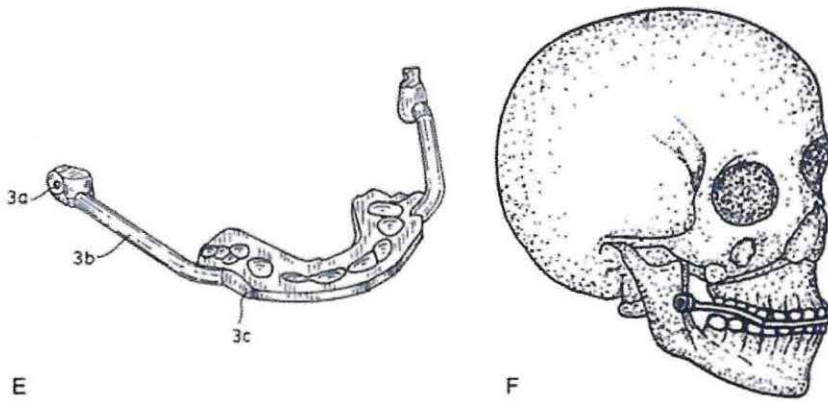
*segundo splint de Zinser*



*Segundo splint de Zinser en el intraoperatorio.*

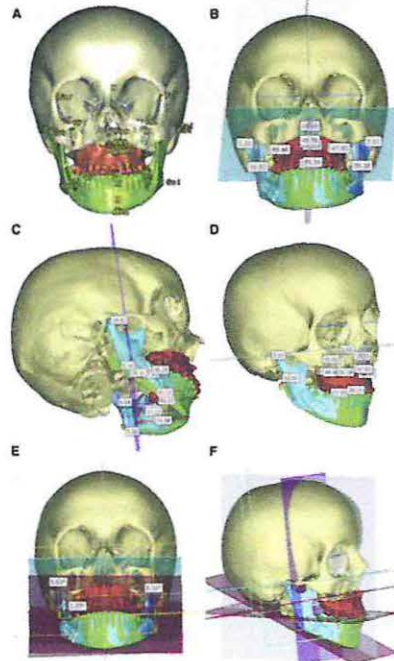
El tercer splint es para ubicar la mandíbula, la innovación de este splint es que fija el

segmento condilar mandibular para asegurar una correcta reposición del cóndilo.



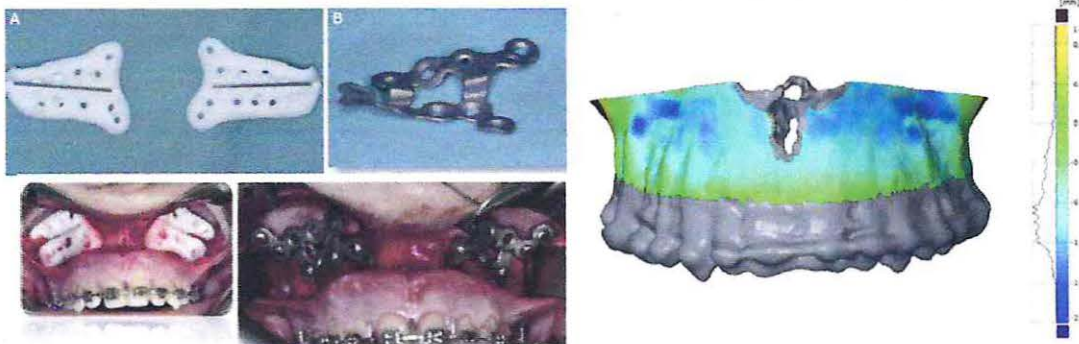
*Tercer splint de Zinser*

Los resultados clínicos de Zinser son buenos, compara el cráneo planificado con el CBTC de control. Realiza mediciones lineales de catorce puntos óseos (línea interincisiva superior, primer molar superior derecho e izquierdo, sutura frontocigomatica, línea interincisiva inferior, primer molar inferior derecho e izquierdo, mentón, cóndilión izquierdo y derecho) hacia distintos cinco planos que establece previamente. (plano de referencia NHP, plano medio facial, plano bi frontocigomatico, Frankfort, plano coronal). El resultado la de planificación mostró una pequeñas variaciones subclínicas para la posición del maxilar de 0,23 mm, del cóndilo 0,19 mm, y para la mandíbula de 0,33 mm.

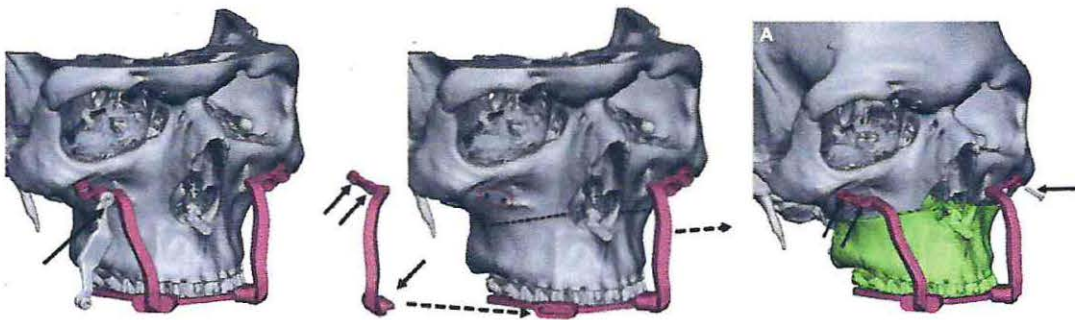


*Marcas y planos para evaluación post quirúrgica Zinser 2012*

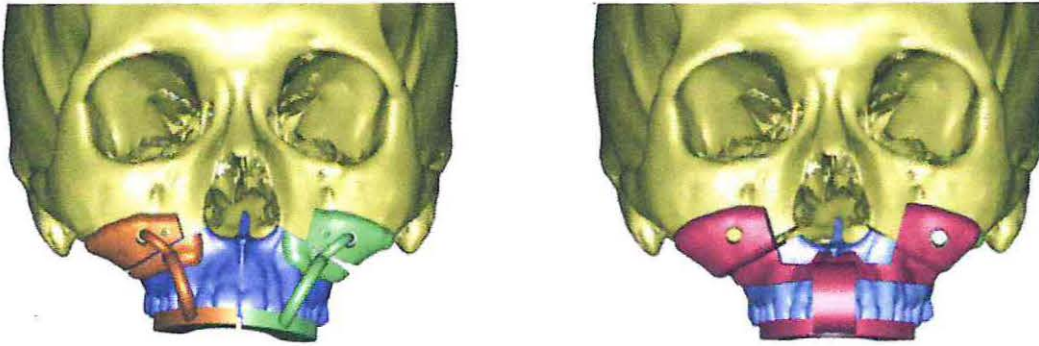
Mazzoni (2015) realiza un estudio para medir la exactitud en el reposicionamiento maxilar utilizando guías de corte y placas de osteosíntesis customizadas, obteniendo buenos resultados, con variaciones clínicas menores a 1mm.



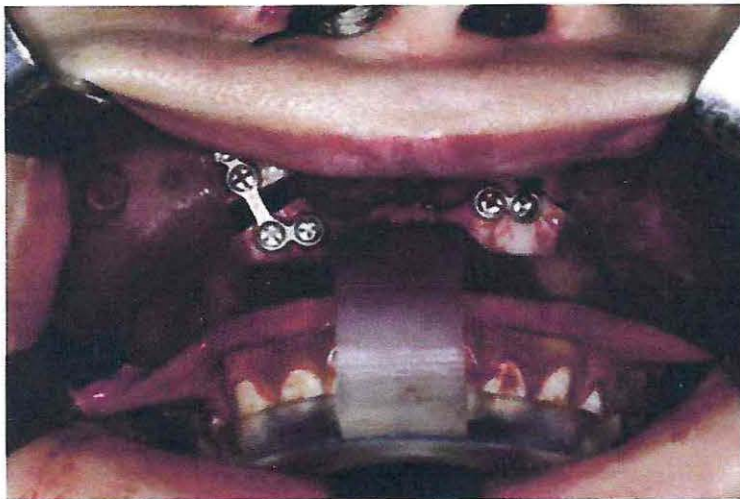
Polley y Figueroa (2013) introdujeron el concepto de dispositivos oclusales para transferir la planificación quirúrgica virtual al pabellón. Se utilizó una guía de perforación inicial para establecer referencias estables o marcas. Después de la movilización del segmento óseo, se utilizó una guía de posicionamiento final. El maxilar se fijó de forma tradicional utilizando placas dobladas manualmente. El dispositivo se utilizó con éxito para tratar a 24 pacientes.



Biao Li (2013) et al describieron su experiencia en 6 pacientes usando un nuevo modelo para guiar la osteotomía y reposicionar el maxilar superior durante la cirugía ortognática bimaxilar. Se utilizaron placas OTS normales para fijar el maxilar. Los resultados obtenidos mediante la comparación de la CBTC postoperatoria con los datos de la planificación virtual mostraron que los errores en el posicionamiento maxilar eran menores de 1 mm.

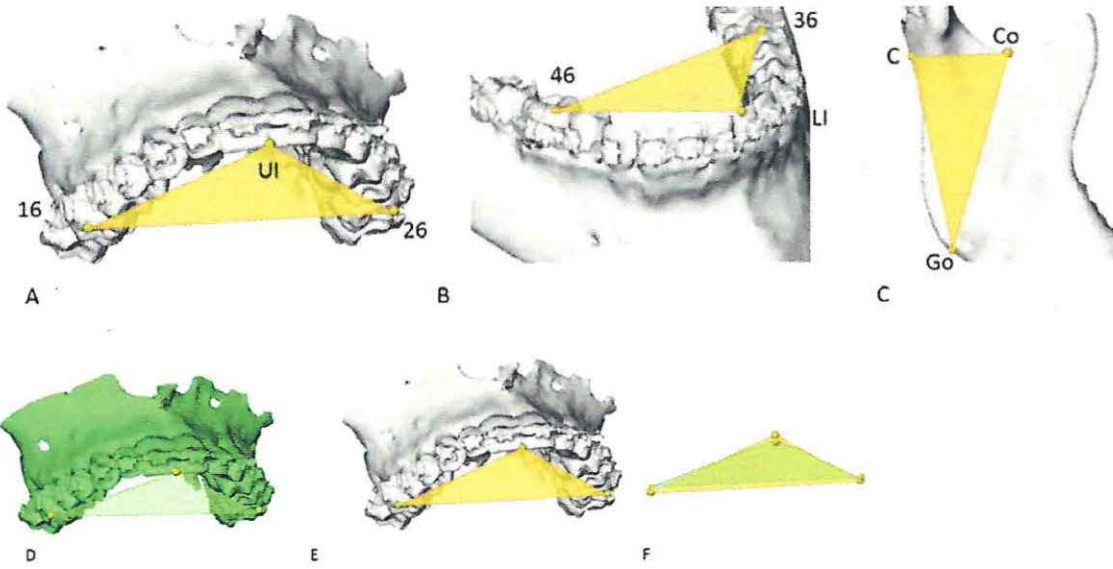


*Guía de corte, Guía de estabilización*



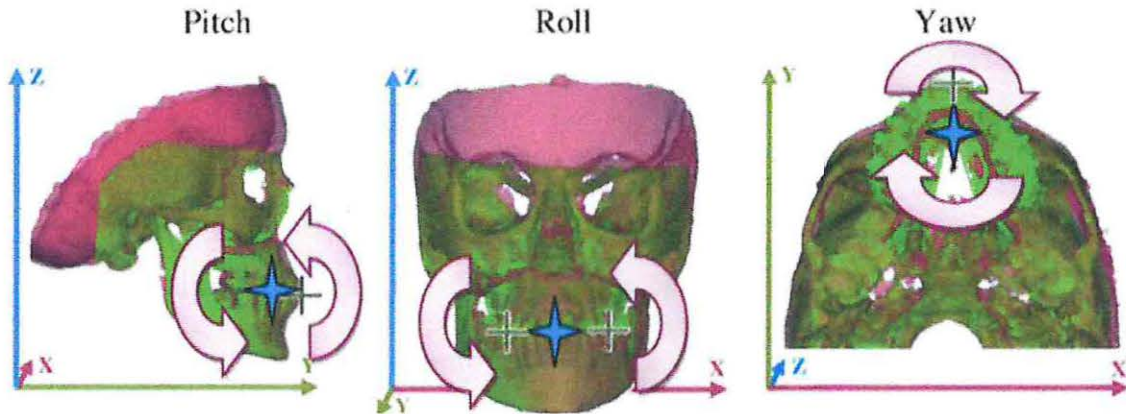
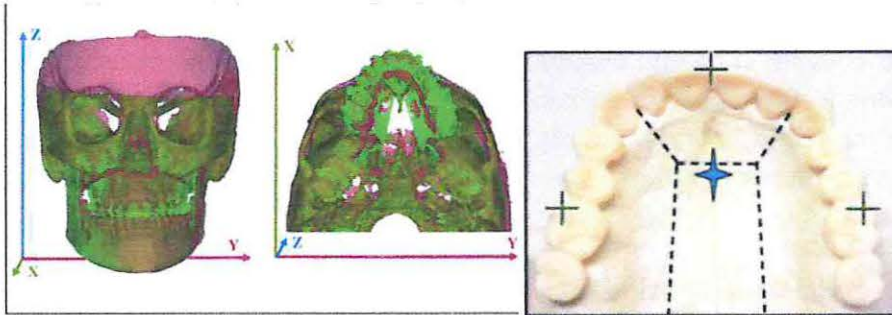
*Guías de estabilización intraoperatoria Biao Li. 2013, con placas OTS posicionadas.*

Frank Baan(2015) realizan control postoperatorio utilizando sistema similar al propuesto por Gateno, utilizan 3 puntos o marcas que forman una superficie triangular, adiciona una superficie triangular para la rama mandibular, pudiendo también verificar el comportamiento de esta estructura en relación a la planificación. Diseñan un software llamado OrthoGnathicAnalyser lo presentan una herramienta virtual objetiva, reproducible y sistemática para cuantificar la precisión en cuanto al desplazamiento y cambio de angulación de los segmentos de la mandíbula y maxilar en la cirugía ortognática.



Frank Baan realiza Los análisis clínicos de diez pacientes que utilizando OrthoGnathicAnalyser demostraron que el splint interoclusal proporcionaba un buen control de la posición del maxilar y la mandíbula estableciendo como éxito clínico variaciones lineales menores a 2,5mm y angulares menores a 4 grados.

Stockbro (2015) realiza el análisis de 30 pacientes en un estudio multicéntrico utilizando comparacione de cráneo planificado con CBTC de control. Utilizan las tres marcas propuestas por Hsu y Xia. una interincisal dos posteriores a nivel molar tanto en maxilar como en mandíbula. Además utilizan una cuarta marca en casos de segmentación que se ubica en el segmento intermedio.



Al igual que el protocolo de Gateno, Xia y Hsu (2007-2009) mide pitch yaw y roll y relaciona las marcas obteniendo resultados clínicamente aceptables tanto en variaciones lineales (menores a 1mm) como angulares, donde se encontraron mayor numero de diferencias fue en la reposición del mentón, que al igual que lo observado en otros artículos tiene menor grado de variación cuando se utiliza una guía de reposicionamiento de mentón. Dentro de los principales hallazgos se establece el plan quirúrgico virtual “se ejecutó con un alto grado de éxito y un grado moderado de precisión”. El reposicionamiento maxilar fue ligeramente menos preciso que el reposicionamiento mandibular para la secuenciación de mandíbula primero. El reposicionamiento mandibular en este estudio se asoció con un movimiento posterior de aproximadamente 2 mm, y la segmentación del maxilar no influyó significativamente en la exactitud de la colocación máxima. Se observó una falta de expansión transversal entre los primeros molares cuando el maxilar estaba segmentado, aunque esto se atribuye probablemente un problema técnico y no relacionado con la planificación quirúrgica virtual.

El año 2014 Stockbro realiza una revisión sistemática en cuanto a la precisión en

planificación virtual, los artículos han sido incluidos en esta revisión. Stockbro encuentra por medio de su revisión sistemática que incluye 133 pacientes que para 125 pacientes el tratamiento se considero exitoso (93%). El criterio de éxito para los artículos incluidos en su gran mayoría fue diferencias menores de 2mm.

En conclusión, la precisión de resultados cuando se consideran tejidos duros en planificación virtual es predecible y exitosa, con variaciones lineales y angulares menores cuando estudiamos los componentes maxilar y mandíbula que en la mayoría de los casos son menores a 2mm y 4º respectivamente, la predicción del segmento mentón es poco predecible en los casos en que no existe guía quirúrgica, teniendo variaciones significativas al comparar mentones operados con guías quirúrgicas en este ultimo caso los resultados son bastante similares a los obtenidos por los segmentos maxilar y mandíbula.

Se debe dejar en claro que el éxito en la predicción y exactitud del plan de tratamiento tiene un componente clínico intraoperatorio fundamental. Lo que aconsejan la mayoría de los autores citados es utilizar marcas intraoperatorias, (Pin Glabellar, por ejemplo) e ir verificando los movimientos planificados con los que se están dando durante el procedimiento en pabellón. No se debe olvidar que la planificación virtual entrega nuevas herramientas al cirujano pero el factor precisión o exactitud sigue siendo operador/cirujano dependiente.

#### **4.2 Tejidos Blandos:**

La simulación de tejido blando todavía requiere una serie de mejoras antes de que sea clínicamente útil. Esto es principalmente por la representación exacta del movimiento de los labios que es particularmente compleja. La comunicación y visualización de los cambios en los tejidos blandos del paciente ofrecen una oportunidad para optimizar e individualizar las necesidades del paciente. Sin embargo, el riesgo de decepcionar al paciente está presente debido a la posibilidad de generar falsas expectativas. (Swennen 2009)

Keipatur (2009) realiza una revisión sistemática para evaluar precisión en programas de predicción computacionales en 2 dimensiones para los cambios en los tejidos blandos(VTO-STO) después de cirugía ortognática. De todos los programas de predicción de computadora disponibles, Quick Ceph, DFP y CASSOS fueron los programas más utilizados. Cada uno de estos programas de predicción tiene sus propias limitaciones, pero en última instancia uno tiene que darse cuenta de que la precisión del software depende de los registros obtenidos y de su procesamiento. (Kusnoto B:2007.) En general mostraron resultados de predicción precisos (2 mm) en comparación con los resultados reales tanto en las direcciones horizontal como vertical. Sólo para algunos puntos cefalométricos específicos la diferencia fue mayor a 2 mm (2,2 para el pogonion vertical, 2,9 para el labio inferior vertical, 3,8 para el stomion inferior horizontalmente, 2,1 para el stomion inferior verticalmente, 2,6 para stomion superior horizontalmente, 2.1 para pronasal vertical). Dicho esto, las diferencias mayores de 2 mm pero menores de 4 mm

pueden tener un impacto significativo en el perfil facial predicho. Aunque las diferencias que no sean mayores de 2 mm pueden no ser perceptibles a simple vista o incluso ser percibidas por los pacientes, pequeñas cantidades combinadas o agregadas en un plano específico pueden crear una distorsión apreciable. El área facial donde aparece la mayoría de las diferencias de predicción más grandes es el labio inferior.

Keipatur et al mencionaban el cambio en la evaluación post operatoria de tejidos blando con las nuevas tecnologías, plantea que la información tridimensional requiere que el clínico procese la información de una manera totalmente nueva. Primero, se agrega una nueva dimensión para cualquier punto dado, y por lo tanto, la magnitud de los errores probablemente se incrementará. En segundo lugar, los puntos cefalométricos y los ángulos que se utilizan actualmente no tendrán sentido en un enfoque 3D. Los marcos tradicionales utilizados en el análisis de cefalogramas laterales se han definido y utilizado sobre la base de imágenes bidimensionales. Estas marcas pueden no representar necesariamente las estructuras más prácticas que ahora podemos identificar con la información 3D.

El modelo virtual debe contener información sobre las propiedades de los tejidos blandos, como su espesor y viscoelasticidad, si se dispone de datos de referencia 3D para las proporciones de movimientos de tejidos blandos, se pueden desarrollar algoritmos precisos que optimizarán la simulación en 3D de los tejidos blandos Swennen (2006)

Existen distintos tipos de modelos con diferentes algoritmos los cuales se utilizan para interpretar el movimiento del tejido blando en relación al tejido óseo.

1. Modelos puramente geométricos: en estos modelos, los desplazamientos de los voxeles de los tejidos blandos se estiman con los movimientos de los voxeles vecinos de los tejidos duros, los vectores de desplazamiento óseo se aplican simplemente sobre los vértices de la malla de tejido blando.

2. Modelos de resorte de masa (Mass Spring Model, MSM): Estos modelos se basan en el supuesto de que el material de una estructura anatómica puede ser representado por un conjunto de elementos discretos, cada uno con propiedades individuales. Cada elemento discreto tiene una masa, y las relaciones entre estas masas se caracterizan por valores de rigidez.

3. Modelos de elementos finitos(FEM): Estos modelos se utilizan intensivamente para el análisis de sistemas biomecánicos. El método de elementos finitos (FEM) puede ofrecer una aproximación numérica de los problemas de deformación viscoelástica. Los modelos FEM consisten en una discretización de la geometría en un conjunto de subdominios. El número de elementos necesarios para obtener resultados de precisión satisfactoria puede ser elevado; Esto suele implicar tiempos y recursos altos de computación.

4. Modelos de tensor de masas(Mass Tensor Model, MTM): Se trata de una mezcla

de la arquitectura fácil de los modelos de masas de resorte y la relevancia biomecánica de los modelos de elemento finito

Los modelos más utilizados son el modelo de resorte de masa (mass spring model) (MSM) (Mollemans et al., 2007, Schendel et al., 2013), el modelo de elemento finito (finite element model) (FEM) (Marchetti et al., 2006, Marchetti et al. 2007, Marchetti Et al., 2011) y el modelo de tensor de masas (mass tensor model) (MTM) (Mollemans et al., 2007, Nadjmi et al., 2013, Shafi et al., 2013). Estos algoritmos fueron aplicados por varios softwares comerciales para la simulación de tejidos blandos.

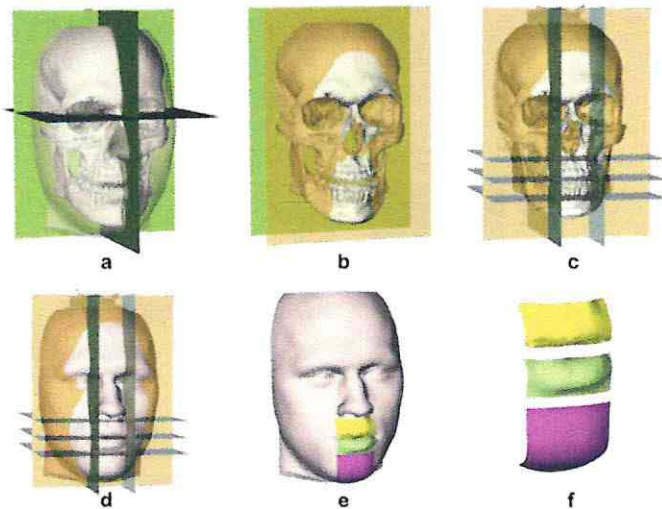
Jeroen Liebrechts (2014) evaluó la precisión de la simulación 3D de tejidos blandos de osteotomías bimaxilares utilizando el software Maxilim (algoritmo MTM). El error medio de simulación para la cara en su conjunto y las subregiones labio superior, labio inferior y menton fue de 0,8 mm, 1,2 mm, 1,4 mm, 1.1 mm respectivamente. El percentil del 90% del error absoluto promedio se mantuvo por debajo de los 2 mm. Estos errores fueron mucho más bajos que los reportados por Shafi et al. (Error medio en la región del labio superior de 2,73 mm), que también investigó la predictibilidad del software Maxilim, pero para los avances aislados de Le Fort I (Shafi et al., 2013). El avance maxilar medio en el estudio de Shafi et al. Fue mayor que en este estudio (5,5 mm frente a 2,7 mm), lo que podría haber inducido más inexactitudes en la simulación de tejidos blandos.

Jeroen Liebrechts (2015) realiza un estudio similar al anterior pero con paciente que solo se realizan OSRB. El nivel mínimo de diferencia, que sería clínicamente importante, se fija arbitrariamente en 2 mm Proffit (1987). La exactitud de la predicción para la cara en su conjunto y para las subáreas del labio superior, Labio y barbilla son altos (100%, 98%, 94% y 97%, respectivamente). Estos resultados son mayores en comparación con los resultados de estudios previos. Las diferencias son probablemente causadas por los relativamente pequeños cambios faciales globales causados únicamente por un avance sagital comparado con cambios faciales como resultado de una cirugía bimaxilar con o sin una genioplastia. El error absoluto medio encontrado en el estudio para la cara como un todo (0,9 mm) es comparable al de estudios previos. Esto significa que la superficie de la piel predicha para toda la cara en promedio difiere en menos de 1 mm de la superficie real de la piel postoperatoria. Esto es causado por la gran cantidad de tejido facial sin cambios cuando se compara la cara en su conjunto, lo que contribuye a una menor diferencia media entre la simulación (sin cambios) y el resultado postoperatorio. Para todos los puntos de tejido blando, el subnasal se predijo con la mayor precisión (diferencia absoluta media, 1,1 mm). El labio inferior se predijo con la menor precisión (diferencia absoluta media, 2,0 mm). Múltiples estudios han demostrado que los labios son los más difíciles de predecir (Mollemans W 2007) (Kau CH 2007) (Jones RM 2007) (Smith JD 2004) y que la simulación es más precisa cuando los movimientos quirúrgicos son moderados y los pacientes tienen labios competentes con poca eversión. (Hernandez-Orsini R, Jacobson A 1989)

La presencia de aparatos ortodónticos durante el escaneo preoperatorio también podría tener un efecto sobre los labios superior e inferior en comparación con las posiciones

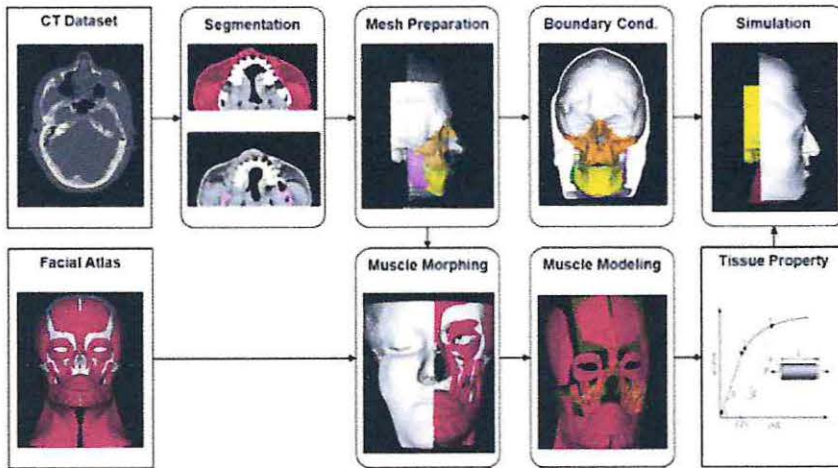
postoperatorias. Abed et al (2009) no informaron diferencias en la postura de los labios directamente después de la remoción de aparatos ortodóncicos usando fotografías de perfil convencional. Se desconocen los efectos tardíos de la eliminación de estos aparatos labiales en la posición de los labios superior e inferior. Otros posibles factores influyentes descritos anteriormente son la variación en el grosor de los tejidos blandos . (Eckhardt 2004 Mobarak KA 2001), el edema de los tejidos blandos después de la cirugía, (Dolce C 2003) (Kau CH 2007) la ganancia o pérdida de peso en el postoperatorio, la presencia de aparatos ortodóncicos rígidos en el preoperatorio y los cambios dentales Debido al tratamiento ortodóncico después de la cirugía.

No hubo correlación entre el error de simulación y la edad, género, cantidad de avance mandibular o cantidad de rotación mandibular para los mapas de distancia 3D y el análisis cefalométrico.

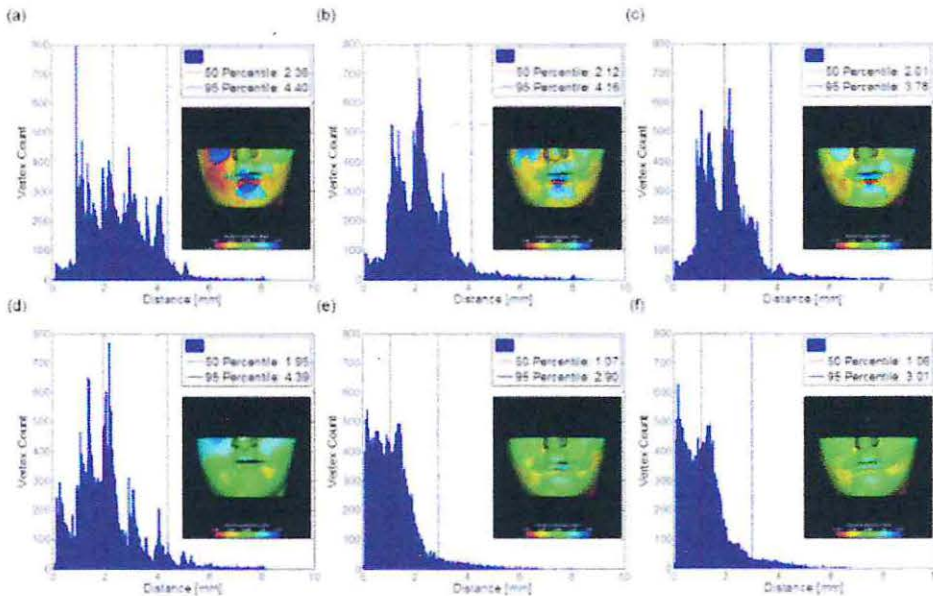


*Simulación y segmentación de tejidos blandos de Jeroen Liebrege*

Hyungmin Kim y Philipp Jurgens 2011 trabajaron con modelos tensores de masa (MTM) dando propiedades de tensión muscular al tejido blando con el fin de mejorar la predicción. Se propuso una técnica de morphing de músculos faciales basada en plantillas. El estudio retrospectivo de validación con una tomografía computarizada postoperatoria real confirmó la hipótesis de que se obtienen mejoras en la precisión mediante la introducción de músculos faciales basados en plantillas.



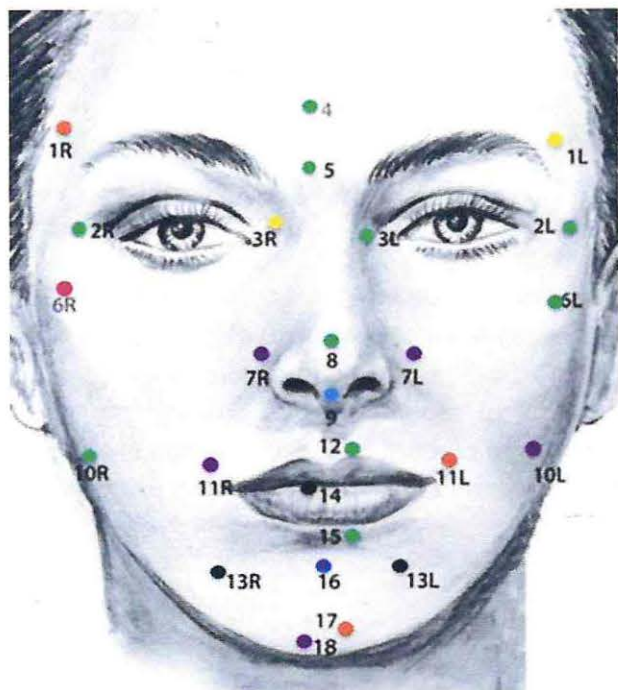
**Fig. 1.** The pipeline of the anatomically-driven facial soft-tissue simulation method using muscle template model



**Fig. 5.** Comparison of distance errors between simulations and post-operative result: histogram and color maps of (a) homogeneous, (b) muscle template I, (c) muscle template II, (d) homogeneous + sliding contact, (e) muscle template I + sliding contact, (f) muscle template II + sliding contact.

Stephen A. Schendel realizan un estudio con fotogrametría, utilizan modelos de masa de resorte, (model spring mass, MSM) los autores encontraron una diferencia promedio de 0,27 mm entre los puntos simulados y reales de tejido blando, lo cual es bastante bueno. Los puntos de tejido blando en la línea media, como la frente, nasion y punto A, no mostraron diferencias ( $P = 0,5$ ). Los puntos alrededor de los ojos y las áreas malares y temporales eran precisos El pogonion y el área nasal también fueron cercanos, con una varianza de 0.2 mm ( $P = .5$ ). Los únicos puntos con una diferencia significativa consistente

fueron los puntos mentales, que están sujetos a dificultades en la identificación y descripción.



Variable	Var- Code	Delta
Forehead	4	0
Nasion	5	0
Nasal Tip	8	0
A Point Upper Lip	12	0
Lower Lip	15	0
Right Gonion	10R	0
Left Outer Canthus	2L	0
Right Outer Canthus	2R	0
Left Inner Canthus	3L	0
Left Zygomatic	6L	0
Left Temple	1L	0.05
Right Inner Canthus	3R	0.05
Mentalis	17	0.1
Left Comisure	11L	0.1
Right Temple	1R	0.1
Right Zygomatic	6R	0.15
Pogonion	18	0.2
Left Gonion	10L	0.2
Right Comisure	11R	0.2
Left Ala	7L	0.2
Right Ala	7R	0.2
Subnasale	9	0.3
B Point Lower Lip	16	0.4
Commisure	14	0.6
Left Nerve	13L	0.6
Right Nerve	13R	0.6

*Puntos de referencia y variaciones en mm.*

*3-Dimensional Facial Simulation in Orthognathic Surgery: Is It Accurate? Stephen A. Schendel(2013)*

Marchetti et al (2011) evaluaron el uso del software SurgiCase-CMF (Materialize, Leuven, Bélgica) para la simulación de tejidos blandos y encontraron una confiabilidad del 91%, que juzgaron lo suficientemente realista para formar una predicción precisa de la apariencia facial del paciente, Después de la cirugía. Cómo esto se traduce en diferencias milimétricas no está claro.

Kaipatur y Flores-Mir(2009) encontraron que el área de error más significativo en la predicción fue el área del labio inferior, aunque estos errores fueron casi siempre menores de 2 mm. Afirmaron que la composición de estos pequeños errores puede tener implicaciones clínicas. Está relacionada con las fuerzas musculares en reposo y el reconocimiento de la hiperfunción en las exploraciones iniciales, resultando en simulaciones menos precisas.

Westermarck et al(2005) encontraron una buena correlación entre la simulación y el resultado en 15 pacientes.

Existen limitaciones de estos tipos de estudios se relacionan principalmente con la colocación del paciente en el momento de la exploración fotogramétrica. Excesiva inclinación o flexión de la cabeza puede distorsionar los tejidos, pero lo más importante es

la presencia de hiperfunción muscular o muecas durante el escaneo. La distorsión más común es la hiperfunción del músculo mental, que es la incompetencia bilabial más frecuentemente debido al exceso maxilar vertical.

La cirugía ósea real debe duplicar con exactitud la cirugía propuesta; Si la duplicación no es exacta, entonces incluso una simulación de tejido blando 3D correcta será incorrecta.

Los Softwares tienen más dificultad para simular cambios de impactación maxilar cuando hay incompetencia bilabial preoperatoria y excesiva demostración dental maxilar, como se ve en el síndrome de cara larga. Esto se debe en parte a las inexactitudes en el sistema de resorte, que requieren un ajuste fino, ya la manera en que se manejan los tejidos blandos en el área perioral.

En general, el algoritmo del modelo de tensor de masas combinado con la formación de imágenes CBCT es un método preciso para predecir los cambios en los tejidos blandos después del avance mandibular y puede usarse fácilmente para predecir cambios en el tejido postoperatorio de paciente.

La simulación quirúrgica 3D automatizada de los tejidos blandos de la cara en la cirugía ortognática es actualmente lo suficientemente precisa para el uso clínico. Es importante considerar que el modelo de trabajo y el software a utilizar se encuentre con un algoritmo validado que permita interpretar el movimiento de los tejidos óseos al tejido blando.

## 5.- Ventajas y Desventajas de la planificación virtual.

Al planificar en 3D, el cirujano es capaz de visualizar el arco dental, el esqueleto óseo y los tejidos blandos, todo en un solo modelo virtual. Además, las deformidades dentales y alteraciones en el eje vertical (Yaw) que se manifiestan como corredores bucales asimétricos pueden detectarse mediante una planificación virtual que no habría sido detectada por el análisis cefalométrico tradicional y el examen físico.(Swennen 2009, Edwards 2010, Baker 2012).

Una vez formado el cráneo compuesto se puede observar el paciente en los 3 sentidos del espacio, pudiendo en todo momento retirar cada una de las estructuras (tejido blando, tejido óseo, modelos) para verificar si estas se encuentran en una buena orientación en relación a la clínica del paciente, se puede determinar línea media facial, línea media dentaria, verificar orientación en posición natural de cabeza.(Caloss 2007)

El cirujano puede ver la anatomía del paciente durante la planificación evaluando osteotomías y su comportamiento al ser movilizadas.

En el caso de OSRB permite verificar que sucede con el segmento proximal al movilizar el segmento distal, esto es especialmente importante en pacientes asimétricos para evaluar la existencia de algún tope en sentido lateral, de ser así se puede jugar con el YAW del complejo maxilo-mandibular para evitar que se provoque ese tope posterior, de ser un tope mayor se debe planificar una osteotomía adicional del segmento distal para permitir el asentamiento del segmento proximal.(Gateno 2013)

A diferencia de la planificación tradicional en dos dimensiones, la planificación virtual posee la ventaja de poder determinar mediciones precisas en pacientes asimétricos y paciente con malformaciones complejas que en los análisis convencionales con radiografía lateral de cráneo es limitada por la superposición de estructuras.

La planificación virtual permite diagnosticar canteos por medio de marcas a nivel de los dientes, el canteo es determinado en forma objetiva sin superposición de estructuras.

Debido a la completa digitalización del plan de tratamiento, la planificación virtual tiene un número de ventajas importantes sobre la planificación del tratamiento convencional. Los planes de tratamiento se pueden almacenar en línea y darle un nuevo uso al espacio normalmente ocupado por los materiales utilizados en la planificación convencional.

Se pueden realizar múltiples planes de tratamiento una vez conformado el cráneo compuesto.

El plan de tratamiento virtual puede ser fácilmente visualizado y compartido con colegas, tanto ortodoncistas como cirujanos orales y maxilofaciales (Swennen 2009)

Además, la planificación virtual también tiene la posibilidad de obtener conocimiento de las cirugías realizadas en diferentes centros de todo el mundo, lo que hace posible revisar el plan de tratamiento de deformidades maxilofaciales raras y difíciles previamente realizadas por otros cirujanos, y evaluar el resultado postoperatorio tanto en los tejidos duros como los blandos. (Swennen 2009)

En cuanto al tiempo de planificación una vez que el software es dominado por el operador los tiempos de planificación son reducidos. Sin embargo la curva de

aprendizaje puede ser larga.(Swennen2014)

La planificación virtual puede reducir el costo total de la atención debido a la disminución del tiempo de operación y la necesidad de cirugía re-operación.(Stockbro 2014)(Swennen 2014)

La precisión y exactitud del resultado con planificación virtual mostró ser alta para tejido óseo.(Stockbro 2014). Para tejido blando el resulta dependerá si el software utilizado posee un modelo con algoritmos de comportamiento de tejido blando que considere la viscoelasticidad y el grosor del tejido. En los casos en que la planificación sea realizada con software con algoritmo de tejido blando el resultado mostro valores similares que para el tejido óseo.

Debido a la Diferencias en algoritmos y desarrollos rápidos en software, es incierto si la exactitud reportada con el uso de un software sea la misma que para los demás. Los ensayos clínicos para analizar los diversos protocolos de planificación virtual y validación de software son todavía esenciales para permitir la práctica de la medicina basada en la evidencia. (Stephen A. Schendel )

Dentro de las desventajas que poseen estos sistemas son los costos, los software operador dependiente (Nemo 3D- Dolphin 3D) tienen costos altos iniciales y además se deben pagar patentes anuales y actualización, mientras que los software operador no dependiente también tiene altos costos asociado además de ser engorrosos, se deben realizar envío de los registros para luego ser procesados en forma remota.

La planificación tiene una serie de pasos que se deben llevar a cabo (fusión de la arcada dentaria, fusión del tejido blando, evaluación condilar, evaluación de vía aérea entre otras) tiene curva de aprendizaje no menor que dependerá de cada operador según la cercanía que tenga este con el área digital, las habilidades y componente generacional del cirujano serán factores a considerar al querer utilizar el software planificación virtual.

La curva de aprendizaje de los distintos software es larga, va a depender del software utilizado, la tendencia es que cada vez los software sean mas intuitivos para el operador y así facilitar el trabajo al cirujano y no convertirse en un problema.

A pesar de los resultados, los autores reconocen que la planificación virtual no es lo mismo que la planificación manual. Durante la planificación manual, el cirujano "siente" los modelos cuando él o ella establece los modelos reales en la oclusión deseada; Durante la planificación virtual, el cirujano tiene que 'ver' la oclusión. Aunque el sistema presentado ofrece algunas soluciones para facilitar esta detección (por ejemplo, con el oclusionograma), se admite que una curva de aprendizaje está asociada con este sistema de planificación oclusal virtual.

## 6.- Conclusión

La planificación virtual ha demostrado ser preciso y reproducible y en algunos casos resultar en mejores resultados clínicos en comparación con la cirugía modelos tradicional esto especialmente en paciente asimétricos o malformaciones complejas. Los estudios de precisión se han realizado mediante la superposición del plan virtual con los estudios postoperatorios.

El DICOM inicial debe ser siempre tomado en relación céntrica variaciones en la posición condilar provocará alteraciones en el plan de tratamiento y se obtendrán resultados alterados en cirugías de maxilar primero.

Al evaluar los resultados se debe considerar que el CBTC de control debe ser tomado en relación céntrica al igual que el TAC inicial par poder realizar una correcta superposición.

La literatura muestra un cambio de paradigma en cuando a la evaluación de los resultados post quirúrgicos, este cambio consiste en evaluar las estructuras en los 3 sentidos del espacio y para eso debemos incorporan variables de posición y orientación de las estructuras (distancias lineales y distancias angulares).

Los resultados presentados en la literatura sugiere que la planificación asistida por ordenador es precisa para la cirugía ortognática del maxilar y la mandíbula. Guías quirúrgicas virtuales innovadoras como las utilizadas por Hsu et al. y Zinser et al. Son precisas en la colocación del mentón y del cóndilo mandibular, respectivamente. y que el análisis de los tejidos blandos es cada vez mejor pero aun presenta inexactitudes especialmente en la zona de los labios, mas aun en el labio inferior.

El uso de férulas de posicionamiento, maxilar, mandibular y mentón, si bien aumenta la precisión , aumenta el tiempo de planificación y tiempo quirúrgico con el consiguiente aumento de costos.

Con respecto a la precisión en el resultado se debe considerar también que los software de planificación virtual nos entregan solo una herramienta para realizar correcto diagnostico y planificación quirúrgica previo a pabellón pero la técnica propiamente tal de llevar lo planificado al resultado clínico esperado sigue teniendo un componente importante cirujano, el resultado es operador dependiente.

Con respecto a los beneficios para el paciente y el procedimiento quirúrgico, se estima que la planificación asistida por computadora facilita el análisis de los resultados quirúrgicos y proporciona una mayor precisión. Cuando se compara esta técnica con la planificación tradicional, la primera se traduce en una reducción de los tiempos de planificación preoperatoria, ambos tienen tiempos intraoperatorios similares, el número de complicaciones quirúrgicas relacionadas con la planificación no disminuye y hay indicios de que la planificación asistida por ordenador es más preciso.

Aunque los hallazgos favorecen la planificación asistida virtual, la calidad de la evidencia científica es baja y los ensayos clínicos controlados aleatorios bien estructurados son necesarios para determinar claramente si este tipo de intervención en cirugía ortognática es más precisa y proporciona mayores beneficios al paciente y el procedimiento quirúrgico.



## Bibliografía

1. Swennen GRJ, Schutyser F: Three-dimensional virtual approach to diagnosis and treatment planning of maxillo-facial deformity, *in* Bell WH, Guerrero CA (eds): *Distraction Osteogenesis of the Facial Skeleton* (vol 6). Hamilton, BC Decker, 2007, p 55
2. Mollemans W, Schutyser F, Nadjmi N, et al: Predicting soft tissue deformations for maxillofacial surgery planning system: From computational strategies to a complete clinical validation. *Med Image Anal* 11:282, 2007
3. Marchetti C, Bianchi A, Bassi M, et al: Mathematical modeling and numerical simulation in maxillo-facial virtual surgery (VISU). *J Craniofac Surg* 17:661, 2006
4. Marchetti C, Bianchi A, Bassi M, et al: Mathematical modeling and numerical simulation in maxillo-facial virtual surgery (VISU). *J Craniofac Surg* 18:826, 2007
5. Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, et al: A new technique for the creation of a computerized composite skull model. *J Oral Maxillofac Surg* 61:222, 2003
6. Schutyser F, Swennen G, Suetens P: Robust visualization of the dental occlusion by a double scan procedure: Lecture notes in computer science. *Med Imag Comput Comput Assist Interven* 3749:368, 2005
7. Swennen GR, Mollemans W, De Clercq C, Abeloos J, Lamoral P, Lippens F, et al. A cone-beam computed tomography triple scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model appropriate for orthognathic surgery planning. *J Craniofac Surg* 2009;20:297-307.
8. Swennen GRJ, Barth EL, Eulzer C, et al: The use of a new 3D splint and a double CT scan procedure to obtain an accurate anatomic 3D virtual augmented model of the skull. *Int J Oral Maxillofac Surg* 36:146, 2007
9. Swennen GRJ, Mommaerts MY, Abeloos J, et al: The use of a wax bite wafer and a double CT scan procedure to obtain a 3D augmented virtual skull model. *J Craniofac Surg* 18:533, 2007
10. Swennen GRJ, Mommaerts MY, Abeloos J, et al: A cone-beam CT based technique to augment the 3D virtual skull model with a detailed dental surface. *Int J Oral Maxillofac Surg* 38:48, 2009
11. Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, et al: The precision of computer-generated surgical splints. *J Oral Maxillofac Surg* 61:814, 2003
12. Swennen GRJ, Schutyser F, Barth EL, et al: A new method of 3-D cephalometry: part I. The anatomic cartesian 3-D reference system. *J Craniofac Surg* 17:314, 2006
13. Swennen GRJ, Mollemans W, De Clercq C, et al: A cone-beam CT triple scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model appropriate for orthognathic surgery planning. *J Craniofac Surg* 20:297, 2009
14. De Groeve P, Schutyser F, Van Cleynenbreugel J, et al: Registration of 3D photographs with spiral CT images for soft tissue simulation in maxillofacial surgery: Lecture notes in computer science. *Med Imag Comput Comput Assist Interven* 2208:991, 2001
15. Maal TJJ, Plooi M, Rangel FA, et al: The accuracy of matching three-dimensional photographs with skin surfaces derived from cone-beam computed tomography. *Int J Oral Maxillofac Surg* 37:641, 2008 Xia J, Wang D, Samman N, et al: Computer-assisted three-dimensional planning and simulation: 3D color facial model generation. *Int J Oral Maxillofac Surg* 29:2, 2000

16. Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker SF, et al. Three-dimensional cone-beam computed tomography for assessment of mandibular changes after orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 131:44–50.
17. Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker GR, et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomaxillofac Radiol* 2005;34:369–75.
18. Hernandez-Alfaro F, Guijarro-Martinez R. New protocol for three-dimensional surgical planning and CAD/CAM splint generation in orthognathic surgery: an in vitro and in vivo study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013;42: 1547–1556.
19. Li B, Zhang L, Sun H, Yuan J, Shen SG, Wang X. A novel method of computer aided orthognathic surgery using individual CAD/CAM templates: a combination of osteotomy and repositioning guides. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2013;51:e239–e244.
20. Hsu SS, Gateno J, Bell RB, Hirsch DL, Markiewicz MR, Teichgraeber JF, et al. Accuracy of a computer-aided surgical simulation protocol for orthognathic surgery: a prospective multicenter study. *J Oral Maxillofac Surg* 2013;71:128–42.
21. Centenero AH, Hernandez-Alfaro F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results—our experience in 16 cases. *J Craniomaxillofac Surg* 2012;40:162–8.
22. Zinser MJ, Sailer HF, Ritter L, Braumann B, Maegele M, Zöllner JE. A paradigm shift in orthognathic surgery?. A comparison of navigation, computer-aided designed/computer-aided manufactured splints, and 'classic' intermaxillary splints to surgical transfer of virtual orthognathic planning. *J Oral Maxillofac Surg* 2013;71: 2151.e1-2151.e21.
23. Zinser MJ, Mischkowski RA, Sailer HF, Zoller JE. Computer-assisted orthognathic surgery: feasibility study using multiple CAD/CAM surgical splints. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2012;113: 673–687.
24. Shehab MF, Barakat AA, AbdElghany K, Mostafa Y, Baur DA. A novel design of a computer-generated splint for vertical repositioning of the maxilla after Le Fort I osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2013;115:e16–25.
25. Mazzoni S, Badiali G, Lancellotti L, Babbi L, Bianchi A, Marchetti C. Simulation-guided navigation: a new approach to improve intraoperative three-dimensional reproducibility during orthognathic surgery. *J Craniofac Surg* 2010;21:1698–705.
26. Xia J, Samman N, Yeung RW, Wang D, Shen SG, Ip HH, et al. Computer-assisted three-dimensional surgical planning and simulation: 3D soft tissue planning and prediction. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2000;29:250–8.
27. Xia J, Ip HH, Samman N, Wang D, Kot CS, Yeung RW, et al. Computer-assisted three-dimensional surgical planning and simulation: 3D virtual osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2000;29:11–7.
28. Mischkowski RA, Zinser MJ, Kübler AC, Krug B, Seifert U, Zöllner JE. Application of an augmented reality tool for maxillary positioning in orthognathic surgery—a feasibility study. *J Craniomaxillofac Surg* 2006;34:478–83.
29. Bell RB. Computer planning and intraoperative navigation in orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69:592–605.
30. Polley JW, Figueroa AA. Orthognathic positioning system: intraoperative system to transfer virtual surgical plan to operating field during orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2013;71:911–20.
31. Baker SB, Goldstein JA, Seruya M. Outcomes in computer-assisted surgical simulation for orthognathic surgery. *J Craniofac Surg* 2012;23:509–13.
32. Xia JJ, Shevchenko L, Gateno J, Teichgraeber JF, Taylor TD, Lasky RE, et al. Outcome study

- of computer-aided surgical simulation in the treatment of patients with craniomaxillofacial deformities. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69:2014–24.
33. Gateno J, Xia JJ, Teichgraeber JF, Christensen AM, Lemoine JJ, Liebschner MA, et al. Clinical feasibility of computer-aided surgical simulation (CASS) in the treatment of complex cranio-maxillofacial deformities. *J Oral Maxillofac Surg* 2007;65:728–34.
  34. Swennen GR, Schutyser F. Three-dimensional cephalometry: spiral multi-slice vs cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:410–6.
  35. Bhatia SN, Sowray JH. A computer-aided design for orthognathic surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1984;22:237–53.
  36. De Vos W, Casselman J, Swennen GR. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009;38:609–25.
  37. Guijarro-Martínez R, Swennen GR. Cone-beam computerized tomography imaging and analysis of the upper airway: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2011;40:1227–37.
  38. Ellis III E. Bimaxillary surgery using an intermediate splint to position the maxilla. *J Oral Maxillofac Surg* 1999;57:53–6.
  39. Ellis III E. Accuracy evaluation of an old model of surgery: technique and introduction of a new one. *J Oral Maxillofac Surg* 1990;48:1161–7.
  40. Lin HH, Lo LJ. Three-dimensional computer-assisted surgical simulation and intraoperative navigation in orthognathic surgery: a literature review. *J Formos Med Assoc* 2015;114:300–7.
  41. Profitt WR, Phillips C, Dann C, et al. Stability after surgical-orthodontic correction of skeletal class III malocclusion. I. Mandibular setback. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1991;6:7–18.
  42. Quevedo LA, Ruiz JV, Quevedo CA. Using a clinical protocol for orthognathic surgery and assessing a 3-dimensional virtual approach: current therapy. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69:623–37.
  43. Aboul-Hosn Centenero S, Hernandez-Alfaro F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results—our experience in 16 cases. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery: official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. 2012; 40(2):162–8. Epub 2011/04/05. doi: 10.1016/j.jcms.2011.03.014 PMID: 21458285.
  44. Schendel SA, Jacobson R. Three-dimensional imaging and computer simulation for office-based surgery. *Journal of oral and maxillofacial surgery: official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*. 2009; 67(10):2107–14. Epub 2009/09/19. doi: 10.1016/j.joms.2009.04.111 PMID: 19761904.
  45. Stokbro K, Aagaard E, Torkov P, Bell RB, Thygesen T. Virtual planning in orthognathic surgery. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2014; 43(8):957–65. Epub 2014/04/22. doi: 10.1016/j.ijom.2014.03.011 PMID: 24746388.
  46. De Riu G, Meloni SM, Baj A, Corda A, Soma D, Tullio A. Computer-assisted orthognathic surgery for correction of facial asymmetry: results of a randomised controlled clinical trial. *The British journal of oral & maxillofacial surgery*. 2014; 52(3):251–7. Epub 2014/01/15. doi: 10.1016/j.bjoms.2013.12.010 PMID: 24418178.
  47. Tucker S, Cevidanes LH, Styner M, Kim H, Reyes M, Proffit W, et al. Comparison of actual surgical outcomes and 3-dimensional surgical simulations. *Journal of oral and maxillofacial surgery: official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*. 2010; 68(10):2412–21. Epub 2010/07/02. doi: 10.1016/j.joms.2009.09.058

PMID: 20591553; PubMed Central PMCID: PMCPMC2945446.

48. Sun Y, Luebbers HT, Agbaje JO, Lambrichts I, Politis C. The accuracy of image-guided navigation for maxillary positioning in bimaxillary surgery. *The Journal of craniofacial surgery*. 2014; 25(3):1095–9. doi: 10.1097/SCS.0000000000000633 PMID: 24717316.
49. Lee CY, Jang CS, Kim JW, Kim JY, Yang BE. Condylar repositioning using centric relation bite in bimaxillary surgery. *Korean journal of orthodontics*. 2013; 43(2):74–82. Epub 2013/05/15. doi: 10.4041/ kjod.2013.43.2.74 PMID: 23671832; PubMed Central PMCID: PMCPMC3650216.
50. Gateno J, Xia JJ, Teichgraeber JF, et al: Clinical feasibility of computer-aided surgical simulation (CASS) in the treatment of complex cranio-maxillofacial deformities. *J Oral Maxillofac Surg* 65:728, 2007
51. Xia JJ, Gateno J, Teichgraeber JF: New clinical protocol to evaluate craniomaxillofacial deformity and plan surgical correction. *J Oral Maxillofac Surg* 67:2093, 2009
52. Schatz EC, Xia JJ, Gateno J, et al: The development of a new technique of recording and transferring natural head position (NHP) in three dimensions. *J Craniofac Surg* 21:1452, 2010
53. Valencia E, Corona G, Jaramillo J, Marfull N (2011): *Diplomado en Alteraciones del Desarrollo Dentomaxilofaciales*. Valparaíso, Chile.
54. Xia JJ, Gateno J, Schatz EC, et al: Accuracy of a new technique for recording natural head position in three dimensions. Presented at the 90th Annual Meeting of American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons, Seattle, WA, September 17-20, 2008
55. Frank Baan, Jeroen Liebrechts Tong Xi\*, Ruud Schreurs, Martien de Koning, Stefaan Bergé, Thomas Maal A New 3D Tool for Assessing the Accuracy of Bimaxillary Surgery: The OrthoGnathicAnalyser 2016
56. Nan Zhang, DDS, Shuguang Liu, DDS, Ph.D, Zhiai Hu, DDS, Jing Hu, DDS, PhD, Songsong Zhu, DDS, PhD, Yunfeng Li, DDS, PhD The Accuracy of Virtual Surgical Planning in Two-jaw Orthognathic Surgery: Comparison of Planned and Actual Results 2016
57. Jeroen Liebrechts, Tong Xi , Maarten Timmermans , Martien de Koning , Stefaan Berge , Theo Hoppenreijns Thomas Maal Accuracy of three-dimensional soft tissue simulation in bimaxillary osteotomies
58. Stephen A. Schendel, MD, DDS,\* Richard Jacobson, DMD, MS,y and Sadri Khalessi, MS, PhDz 3-Dimensional Facial Simulation in Orthognathic Surgery: Is It Accurate? Stephen A. Schendel, MD, DDS,\* Richard Jacobson, DMD, MS,y and Sadri Khalessi, MS, PhDz
59. I Hyungmin Kim , Philipp Jürgens , Stefan Weber Lutz-Peter Nolte , Mauricio Reyes A new soft-tissue simulation strategy for cranio-maxillofacial surgery using facial muscle template mode
60. Brian B. Farrell, DDS, MD<sup>a,b,\*</sup>, Peter B. Franco, DMD<sup>a</sup>, Myron R. Tucker, DDS Virtual Surgical Planning in Orthognathic Surgery
61. Kusnoto B: Two-dimensional cephalometry and computerized orthognathic surgical treatment planning. *Clin Plast Surg* 2007