

Planificación 3d y tecnología CAD/CAM aplicada a la cirugía ortognática.

Confección de férulas quirúrgicas y predicción de resultados postoperatorios.

Samir Aboul-Hosn Centenero

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



**PLANIFICACIÓN 3D y TECNOLOGÍA CAD/CAM
APLICADA A LA CIRUGÍA ORTOGNÁTICA.
CONFECCIÓN DE FÉRULAS QUIRÚRGICAS Y
PREDICCIÓN DE RESULTADOS
POSTOPERATORIOS.**

Samir Aboul-Hosn Centenero

TESIS DOCTORAL

Presentada para aspirar al grado de doctor

Dirigida por el Dr. Federico Hernández Alfaro
Dr. Eduardo Ferrés Padró

Departamento de Cirugía Oral de la Facultad de Odontología.
Universitat Internacional de Catalunya

Enero 2010

Dedicado a mi mujer, Marcella, por las horas robadas y a mis padres por su constante apoyo.

AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Federico Hernández Alfaro y al Dr. Eduardo Ferrés Padró por el tiempo y entusiasmo dedicado a la dirección de esta tesis
- Al Servicio de Cirugía Oral y Maxilofacial de Bellvitge por su indispensable aportación durante mi periodo de formación
- A todo el equipo de la Unidad de Cirugía Maxilofacial del Hospital Plató, con quien trabajo diariamente y comparto mis pacientes
- A Bert Van Roie por su indispensable colaboración en la elaboración del presente trabajo
- Al Sr. Joan Golobart y Sr. Armando Noordermeer por su desinteresada ayuda
- Al Dr Vicente Hernández por la motivación que me trasladó en cada una de nuestras charlas

ÍNDICE

<u>Índice de contenidos</u>	<u>Página</u>
1. Introducción	17
2. Objetivos	21
2.1. Objetivo general	23
2.2. Objetivos específicos	23
3. Fundamentos	25
3.1. Definición de Cirugía Ortognática	27
3.2. Perspectiva histórica.....	28
3.2.1. Desarrollo del tratamiento ortodóncico-quirúrgico	28
3.2.2. Estética facial.....	38
3.3. Desarrollo y anatomía del macizo facial	44
3.3.1. Aspectos generales de la anatomía facial	44
3.3.2. Desarrollo embriológico	45
3.3.3. Patrón de crecimiento craneofacial.....	46
3.4. Estudios diagnósticos preoperatorios	48
3.5. Programas informáticos aplicados a cirugía ortognática.....	59
4. Hipótesis	71

5. Material y Método	75
5.1. Selección de pacientes.....	77
5.2 .Estudio preoperatorio	78
5.2.1. Fabricación de férulas quirúrgicas convencionales.....	81
5.2.2.Fabricación de férulas quirúrgicas Cad/Cam.....	83
5.3. Técnica quirúrgica.....	87
5.3.1. Hueso maxilar	87
5.3.1.1. Le Fort I.....	87
5.3.1.2. Osteotomía segmentaria del maxilar	90
5.3.2. Mandíbula	91
5.4. Seguimiento del paciente y recogida de datos	95
5.5. Estudio estadístico.....	104
5.5.1. Análisis de la predicción de resultados.....	105
5.5.2. Comparación entre férulas quirúrgicas	106
5.5.3. Comparación entre ambas metodologías	107
6. Resultados	109
6.1. Aspectos generales	111
6.2. Niveles de Concordancia entre férulas quirúrgicas.....	113
6.3. Correlación entre la predicción 3D y los resultados postoperatorios	115

7. Discusión	127
7.1. El Estudio Preoperatorio	129
7.2. La Férula Quirúrgica	139
7.3. Predicción de resultados postquirúrgicos.....	144
8. Conclusiones	151
9. Perspectivas de futuro	155
10. Referencias bibliográficas	161
11. Anexo	175

Índice de tablas

Tabla 3.2.1.1. Exposición cronológica de las principales técnicas quirúrgicas descritas para realizar la osteotomía mandibular	31
Tabla 3.2.1.2. Exposición cronológica de las principales técnicas quirúrgicas de osteotomía del hueso maxilar	33
Tabla 6.1.1. Exposición de los diferentes pacientes estudiados con la deformidad dentoalveolar que presentaban y el tratamiento propuesto ...	111-112
Tabla 6.2.1. Resultados de los Niveles de Concordancia entre férulas quirúrgicas convencionales y férulas quirúrgicas Cad/Cam	113
Tabla 6.3.1. Índice de Correlación Intraclase entre los resultados de predicción preoperatoria y los resultados postoperatorios	116

Índice de gráficos

Gráficas de la 6.3.1 a la 6.3.17. Índice de Correlación Intraclase entre la predicción y el resultado postoperatorio de las diferentes mediciones estudiadas	118-126
--	---------

Índice de esquemas

Esquema 5.3.1. Línea de fractura en la osteotomía de LeFort I	88
Esquema 5.3.2. Desepitelización de la mucosa nasal y osteotomía con sierra recíproca	89
Esquema 5.3.3. Disyunción pterigomaxilar	89
Esquema 5.3.4. Protección del nervio dentario inferior durante la osteotomía mandibular	92
Esquema 5.3.5. Osteotomía de rama mandibular por la cara lingual	93
Esquema 5.3.6. Osteotomía de cuerpo mandibular por la cara vestibular	93
Esquema 5.3.7. Fijación rígida mediante miniplacas de titanio y tornillos	94

Índice de figuras

Figura 3.2.1.1. Articulador semiajustable	34
Figura 3.2.1.2 Telerradiografía de perfil con plano de Frankfurt	35
Figura 3.2.1.3. Férula Quirúrgica Intermedia convencional	36
Figura 3.2.1.4. Férula Quirúrgica Final convencional	36
Figura 3.2.2.1. Busto de Nerfertiti	39
Figura 3.2.2.2. Estudio de Proporciones de Leonardo Da Vinci.....	40
Figura 3.2.2.3. Rectángulo Áureo	41
Figura 3.4.1. Aparatología para confeccionar elementos esterolitográficos.....	57
Figura 3.5.1. Tomografía Cone Beam.....	61
Figura 5.2.2.1. Férula Quirúrgica Final Cad/Cam	84
Figura 5.2.2.2. Férula Quirúrgica Intermedia Cad/Cam	85
Figura 5.4.1. - 5.4.8. Imágenes obtenidas para comparar nuestras predicciones desde el programa informático utilizado.....	99-103

Leyendas

IQ: Intervención quirúrgica

Cad/Cam: Computer aided design/Computer Aided Manufacturing

2D: Bidimensional

3D: Tridimensional

PC: Ordenador Personal

TC o CT: Tomografía Computerizada

CBCT: Cone Beam Computer Tomography

RV: Realidad Virtual

RA: Realidad Aumentada

STO: Objetivos del tratamiento quirúrgico (Surgical Treatment Objectives)

DICOM: Digital Imaging and Comunnication in Medicine

ICC: Índice de Correlación Intraclase

ICCa: Índice de Correlación Intraclase de Acuerdo

ICCc: Índice de Correlación Intraclase de Concordancia

1. INTRODUCCIÓN

La Cirugía Ortognática es una subespecialidad dentro de la Cirugía Maxilofacial, cuyo objetivo es dar solución a aquellas malformaciones dento-esqueléticas que provocan una maloclusión dental y una disarmonía facial.

El paciente sometido a este tipo de cirugía recibe una atención multidisciplinar, entrando dentro de unos protocolos de tratamiento donde procedimientos ortodóncicos y quirúrgicos van en una misma dirección: conseguir una perfecta oclusión dental y unos óptimos resultados estéticos. Para ello, es necesario realizar un plan de tratamiento que nos permita delimitar los objetivos de forma precisa. El plan de tratamiento puede variar de un clínico a otro ya que existen diferentes metodologías de trabajo. Gracias a esta planificación previa a la cirugía, se pueden confeccionar férulas quirúrgicas que se utilizan como guía para trasladar al quirófano nuestro plan de tratamiento.

En el presente estudio, analizamos los resultados obtenidos en pacientes operados por malformaciones dento-esqueléticas cuya planificación convencional ha sido trasladada a un entorno tridimensional, utilizando un programa informático especialmente diseñado para ello. Este programa nos ha permitido realizar una predicción de resultados postoperatorios sobre tejido duro y blando de la región anatómica facial, así como confeccionar férulas quirúrgicas a partir de la tecnología Cad/Cam (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) necesarias para obtener unos óptimos resultados, trasladando a quirófano toda la planificación realizada previamente.

El trabajar en un entorno tridimensional (3D) e interactuar con las diferentes estructuras anatómicas, realizando simulaciones quirúrgicas en un ordenador personal, son características de la planificación que podrían aportar ventajas respecto al método convencional de planificación preoperatoria por la información que nos proporcionan. La precisión y la ausencia de pérdida de información en las imágenes 3D con las que trabajamos, estaría avalada por el hecho de trabajar con datos obtenidos a partir de una Tomografía Computerizada

o una Tomografía Cone Beam (Tomografía de Haz Cónico), con la exactitud en la captación de las estructuras anatómicas que ello conlleva.

Pensamos que este cambio de metodología de trabajo, ligado a la evolución tecnológica, supondría un cambio cualitativo en la práctica diaria del clínico, ya que influiría en la forma de planificar los casos y en la obtención de férulas quirúrgicas, razón por la cual nos ha parecido interesante realizar el presente estudio.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar los beneficios que el soporte informatizado nos aporta, en la planificación preoperatoria durante nuestra rutina de trabajo habitual, con respecto a los métodos convencionales de planificación utilizados en el Instituto de Cirugía Maxilofacial e Implantología de la Clínica Teknon en Barcelona.

2.2. Objetivos específicos

1. Evaluar la precisión del programa informático Simplant Pro 10.1 (Materialise[®], Lovaina.Bélgica) en la predicción de resultados postoperatorios a nivel de esqueleto óseo y tejido blando facial.
2. Estudiar la precisión de las férulas quirúrgicas confeccionadas a partir del programa informático Simplant Pro 10.1 (Materialise[®], Lovaina.Bélgica) para trasladar a quirófano nuestro plan de tratamiento quirúrgico.

3. FUNDAMENTOS

3.1. Definición de Cirugía Ortognática

Actualmente, entendemos por Cirugía Ortognática, la rama de la Cirugía Maxilofacial que se combina con la Ortodoncia para solucionar malformaciones faciales y maxilares, donde las malposiciones dentarias y esqueléticas tienen una especial relevancia. Pueden afectar al hueso maxilar, a la mandíbula, o a ambas estructuras óseas. El tratamiento se inicia con una fase ortodóncica prequirúrgica, en la que el ortodoncista sitúa los dientes en una posición previamente planificada, alineándolos y nivelándolos, corrigiendo así las compensaciones fisiológicas (posición que adoptan las piezas dentales en su intento por contrarrestar el efecto de la deformidad esquelética) de las arcadas dentales. Posteriormente, el cirujano maxilofacial, en quirófano, moviliza las estructuras óseas siguiendo la planificación realizada preoperatorioamente y una vez realizadas las osteotomías oportunas. Esto tiene como objetivo: el conseguir que ambas arcadas dentales adopten una correcta relación oclusal.

Según la definición de Epker y Cols, de 1996, “la cirugía ortognática es la especialidad destinada a solucionar diferentes malformaciones dento-esqueléticas mediante una correcta posición del hueso maxilar y/o la mandíbula, con el objetivo de conseguir una correcta funcionalidad del aparato estomatognático, una armonía estética facial y una estabilidad de los segmentos óseos movilizados” (1).

3.2. Perspectiva Histórica

3.2.1. Desarrollo del tratamiento ortodóncico-quirúrgico

La Cirugía Ortognática se ocupa de la corrección de las alteraciones en forma, tamaño y posición de los distintos elementos esqueléticos que originan una malformación dento-esquelética. Para ello, es imprescindible un tratamiento ortodóncico que sitúe los dientes en la posición adecuada.

Antes de la década de los años sesenta la cirugía se reservaba, casi exclusivamente, a pacientes con prognatismo mandibular (mandíbula con una proyección en el eje anteroposterior aumentada que origina, en muchos casos, una malformación dento-esquelética y una disarmonía estética facial), y se hacía sin un tratamiento ortodóncico previo. Esto era así en parte por el desconocimiento de las ventajas que un tratamiento combinado ortodóncico-quirúrgico podía aportar como explica de forma extensa Proffit en sus trabajos (2, 3).

Tras unos inicios donde los estudios ortodóncicos y las técnicas quirúrgicas seguían caminos diferentes, la interacción cirujano-ortodoncista fue haciéndose más estrecha y se empezaron a realizar tratamientos ortodóncicos prequirúrgicos y postquirúrgicos. Esto permitió a los ortodoncistas conseguir una perfecta oclusión dental y un mejor control de las recidivas más comunes postquirúrgicas como expone, entre otros, Proffit en el año 2002 y 2003 (2, 3).

Fruto de este cambio en la forma de entender el tratamiento de las malformaciones dento-esqueléticas, diferentes autores, como Ellis en 1990 (4), han extraído interesantes conclusiones para conseguir unos óptimos resultados en pacientes con deformidades dento-esqueléticas.

El propio Ellis (4) expuso cuatro puntos clave para conseguir la excelencia en el tratamiento de las deformidades dento-esqueléticas:

- Un diagnóstico preciso.
- Un apropiado plan de tratamiento.
- La reproducción de este plan de tratamiento en el quirófano.
- La estabilidad de las estructuras óseas una vez movilizadas.

Sobre la estabilidad de las estructuras osteotomizadas, debe destacarse que a mediados del siglo XX, la estabilización de la mandíbula tras realizar una osteotomía era el mayor inconveniente técnico en este tipo de cirugía. La estabilización de las estructuras osteotomizadas se llevaba a cabo mediante ferulización de las arcadas dentales, y bloqueo intermaxilar durante semanas, lo cual no proporcionaba una estabilidad tan eficaz como la obtenida mediante las miniplacas de titanio y microtornillos actuales. Este sistema de osteosíntesis se lleva utilizando desde finales de los años setenta y principios de la década de los años ochenta, introduciéndose en la práctica habitual por autores como Scholl (5) y, posteriormente, Champy (6-9) , o los tornillos de osteosíntesis bicorticales, considerados como una alternativa a las miniplacas según Chuong (10) ya en el año 2005.

Esta falta de estabilidad, previa a la aparición de los actuales sistemas de fijación ósea, obligaba a un bloqueo intermaxilar con el disconfort asociado que ello conlleva: mayor dificultad para la ingesta de alimentos, para la higiene oral y/o para el habla. Un dato importante fue la demostración de que sin una adecuada estabilidad ósea no se puede llegar a una correcta función oclusal y unos óptimos resultados como expresaron en sus trabajos Champy y Steinhäuser (6-9,11).

Estas conclusiones son fruto de años de estudio de las estructuras óseas que manipulamos cuando realizamos un tratamiento de Cirugía Ortognática: el maxilar superior y la mandíbula. Por eso vamos a exponer a continuación algunos detalles anatómicos de estas dos estructuras y como ha evolucionado la cirugía en ambos huesos por separado.

La mandíbula tiene dos porciones: el cuerpo mandibular y las ramas mandibulares. Esta formada por una capa gruesa de tejido compacto (hueso cortical) y por tejido óseo esponjoso englobado por el hueso cortical. El conducto dentario inferior la atraviesa en los dos lados a lo largo de parte de la rama y cuerpo mandibular. Este conducto se origina en la cara interna de la rama ascendente y se dirige hacia abajo y hacia delante, describiendo una curva cóncava hacia delante y hacia arriba. En su formación, está precedido a cada lado de la línea media, por un tallo cartilaginoso: el cartílago de Meckel. El centro de osificación principal se desarrolla en el tejido conjuntivo, en la cara externa del cartílago de Meckel, hacia el segundo mes de gestación. Más tarde, se desarrollan otros puntos de osificación: un centro mentoniano para la región de la sínfisis del mentón, y otros dos puntos de osificación para el cóndilo y las apófisis coronoides como dejó plasmado Rouvière en su tratado de anatomía publicado en 1974 (12).

En la siguiente tabla (3.2.1.1), exponemos un breve resumen cronológico de la evolución de las osteotomías mandibulares a lo largo de la historia contemporánea, revisando los trabajos de diferentes autores (13-24):

Año	Cirujano	Procedimiento
1846	Hullihen S.P.	Osteotomía segmentaria mandibular anterior para corregir una maloclusión producida por una quemadura grave
1906	Blair V.P.	Osteotomía de cuerpo mandibular
1907	Blair V.P.	Osteotomía horizontal de rama mandibular mediante abordaje externo
1935	Wassmund	Osteotomía de rama en “L” invertida mediante abordaje externo
1954	Caldwell	Osteotomía vertical intraoral de rama mandibular
1955	Obwegeser	Osteotomía sagital de rama
1961	Dal Pont	Osteotomía sagital de rama ampliada en el cuerpo mandibular
1968	Hunsuck	Modificación donde la osteotomía de rama horizontal finaliza antes de llegar al borde posterior de la rama mandibular
1977	Epker	Osteotomía sagital parcial en rama mandibular y “guía” de la fractura por el conducto del nervio dentario
1977	Bell	Estudios sobre la anatomía y fisiología de la mandíbula que influyen en el tipo de osteotomía a realizar
1990	Woldford	Corticotomía basilar del cuerpo mandibular

Tabla 3.2.1.1.: Cronología en la evolución de las diferentes técnicas quirúrgicas de osteotomía mandibular.

En 1955, Obwegeser y Trauner (19) describieron un procedimiento que consistía en realizar una osteotomía sagital a través de la rama mandibular. Puede considerarse esta técnica como el inicio de una nueva forma de entender las osteotomías mandibulares para las correcciones dento-esqueléticas respecto a lo publicado hasta el momento. Esta técnica fue posteriormente modificada por varios autores como Dal Pont (20), Hunsuck (21), Bell (22), Epker (23), o Woldford (24), y es la intervención quirúrgica que más frecuentemente se realiza en la mandíbula según Wyatt (25).

En este punto merece una mención especial el trabajo realizado por Bell en 1977 (22), pues sus estudios sobre 15 macacos, sentaron las bases biológicas y fisiológicas de la mandíbula, poniendo de manifiesto los riesgos de necrosis ósea mandibular en función de la osteotomía realizada.

En cuanto al hueso maxilar, debe destacarse su situación, formando parte de los límites de tres cavidades u oquedades faciales con diferentes funciones: cavidad bucal, cavidad orbitaria y fosas nasales con los senos maxilares. Aunque el hueso maxilar es un hueso voluminoso dentro del macizo facial, las cavidades que forman los senos maxilares hacen que se trate de un hueso ligero. Es un hueso que se forma por dos centros de osificación principales: el postmaxilar y la premaxila. Estos centros se desarrollan en el tejido membranoso que recubre la cápsula nasal cartilaginosa. La separación entre la postmaxila y la premaxila puede visualizarse por la sutura incisiva, visible en la bóveda palatina hasta los doce años aproximadamente como explica Rouvière en su *Tratado de Anatomía Humana Descriptiva* (12).

Después de la descripción de los planos de fractura faciales por Le Fort en 1901, donde el hueso maxilar cobra especial importancia, la cirugía del hueso maxilar se desarrolló a través de los trabajos de Wassmund, Auxhauser y Obwegeser, entre los autores más destacados. Aun así, hasta el trabajo de Bell (26) a mediados de los setenta, donde se describía la vascularización del hueso maxilar durante y después de la “down fracture” (separación del hueso maxilar del resto del macizo facial tras una fractura quirúrgica de Le Fort I), no evolucionó hasta la precisa y refinada técnica que actualmente conocemos.

A continuación (tabla 3.2.1.2), exponemos cronológicamente la evolución de la Cirugía sobre el hueso maxilar, según las principales técnicas quirúrgicas descritas (2,27-31) para solucionar diferentes malformaciones dento-esqueléticas.

Año	Cirujano	Procedimiento
1.864	Cheever	“downfracture” tras Le Fort I como abordaje para extirpar dos masas nasofaríngeas
1.927	Wassmund	Osteotomía maxilar para reposicionamiento maxilar mediante tracción ortodóncica
1.934	Auxhausen	Mobilización del maxilar tras osteotomía para corregir la mordida abierta
1.969	Obwegeser	Tratamiento quirúrgico de una retrusión maxilar
1.975	Bell	Le Fort I para la corrección de deformidades maxilares
1.975	Epker	Le Fort I para corregir deformidades del desarrollo y craneofaciales

Tabla 3.2.1.2: Cronología de la evolución de las diferentes técnicas quirúrgicas de osteotomías en el maxilar.

La cirugía bimaxilar puede realizarse recolocando primero la mandíbula o hueso maxilar aunque la mayoría de autores, como Ellis (32,33), Lindorf (34) y Buckley (35), sugieren estabilizar primero el hueso maxilar. Dicha estructura ósea está unida al resto de estructuras óseas craneofaciales, y no varía en cuanto a su posición estando el paciente despierto o anestesiado, ni con la posición de la cabeza del paciente. Esto no ocurre con la mandíbula por lo que un plan de tratamiento basado en la recolocación mandibular como primer paso puede comportar una mayor complejidad en el momento de trasladar los movimientos desde nuestra planificación al quirófano según sugirió en 1982, Ellis (32).

Para conseguir una correcta posición del maxilar durante la intervención quirúrgica disponemos de la Férula Quirúrgica Intermedia, que nos ayuda a posicionar el hueso maxilar ya osteotomizado en la nueva posición deseada tomando como referencia el arco dental mandibular. La información que la férula quirúrgica nos proporciona debe ser precisa. El proceso de obtención de la férula quirúrgica es complejo y no está exento de errores como señaló Lapp T. en 1999 (36). Sobre esta férula confeccionada en material acrílico, quisiéramos remarcar su importancia para trasladar a quirófano el plan de tratamiento.

A continuación detallamos los pasos a seguir para confeccionar la Férula Quirúrgica de manera convencional:

- Se toma el Arco Facial del paciente. Esto servirá para posicionar correctamente los modelos dentales del paciente en el Articulador Semiajustable (Figura 3.2.1.1).



Figura 3.2.1.1.. Articulador Semiajustable SAM y modelos

Este Arco Facial toma como referencia el Plano de Frankfurt (definido por el *porion*, o punto más craneal del Conducto Auditivo Externo y *orbitale*, o punto más inferior del reborde orbitario en la telerradiografía de perfil, como se puede observar en la figura 3.2.1.2.), del paciente, y lo relaciona con la posición del maxilar superior. Así conseguimos trasladar la posición del maxilar superior desde el paciente hasta el articulador.

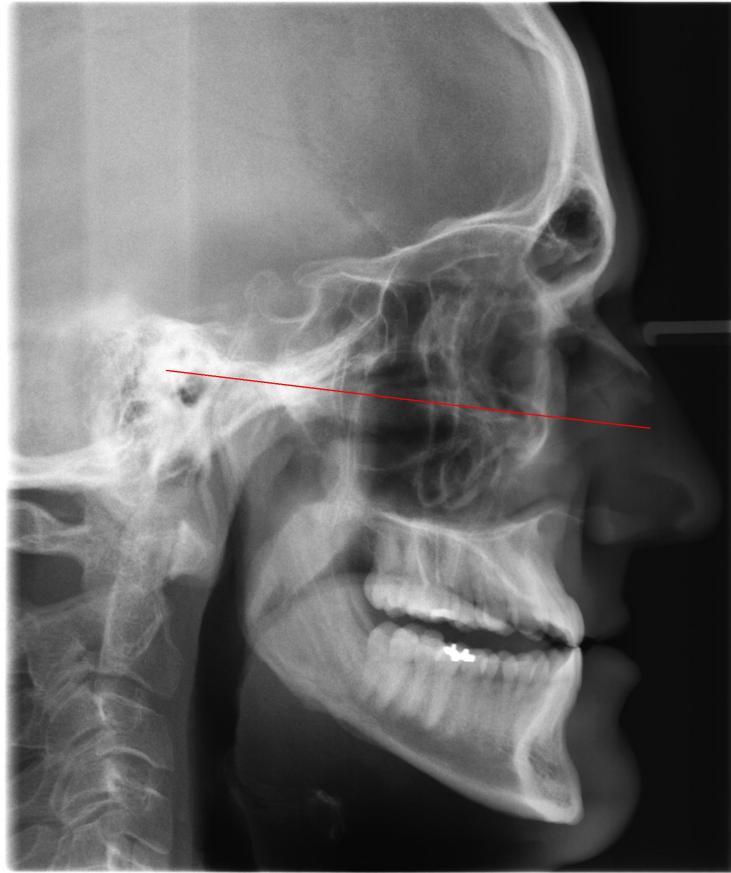


Figura 3.2.1.2.: Detalle del Plano de Frankfurt en la telerradiografía de perfil.

- Montaje de los modelos de las arcadas dentales en el articulador semiajustable (Figura 3.2.1.1), colocando en primer lugar el maxilar superior en la misma posición en que se encuentra en nuestro paciente respecto a su Plano de Frankfurt. Esta posición la hemos trasladado al articulador, gracias a los datos proporcionados por el Arco Facial como hemos explicado en el punto anterior
- Movilización en el articulador de los modelos, según los datos extraídos del estudio cefalométrico y del estudio clínico (en puntos sucesivos abordaremos diferentes tipos de estudios). Primero, posicionaremos la arcada dental superior en la posición deseada y confeccionaremos una Férula Quirúrgica Intermedia (Fig.3.2.1.3), que nos servirá para fijar el maxilar durante la cirugía, una vez realizada la osteotomía del hueso maxilar y tomando como referencia la arcada

dental mandibular. Posteriormente, se crea la Férula Final (Fig.3.2.1.4), para llegar a la oclusión tipo I, una vez realizada la osteotomía mandibular y fijado el hueso maxilar.



Figura 3.2.1.3.: Férula Quirúrgica Intermedia.



Figura 3.2.1.4.: Férula Quirúrgica final.

Es importante remarcar que el hueso maxilar se puede reposicionar con o sin una Férula Quirúrgica Intermedia (que traslada a quirófano nuestro plan de tratamiento para reposicionar correctamente el hueso maxilar) aunque la mayoría de autores recomienda su uso para obtener mayor precisión y predictibilidad en cuanto a los movimientos óseos planificados, así como mayor rapidez en el procedimiento quirúrgico, como ya señaló Ellis en sus trabajos (32,33).

La aparición de la FQ fue un gran avance en la cirugía ortognática, puesto que permitió objetivar de una forma evidente la oclusión del paciente durante la misma intervención. En otras palabras, la FQ actúa como una guía en la sala de operaciones trasladando al quirófano el plan de tratamiento realizado previamente en la consulta. Utilizando la mandíbula y una FQ intermedia para posicionar el maxilar superior, al cirujano le faltará únicamente determinar la apropiada dimensión vertical para establecer una correcta posición del maxilar superior, según indica Ellis en su trabajo publicado en 1982 (32).

El diseño de estas férulas a partir de los modelos de la arcada dental, y la fabricación con materiales plásticos y resinas, se ha ido refinando con el tiempo, aunque no ha sido hasta la creación de sistemas Cad/Cam, en que la mano del hombre ha pasado a un “segundo plano”, como ya expuso Xia en el año 2000, publicando uno de los primeros trabajos sobre tecnología Cad/cam aplicada a la cirugía ortognática (37).

3.2.2. Estética facial

Desde el punto de vista etimológico el término “estética” procede del griego “aesthetikos”, que significa lo que se percibe mediante sensaciones. Por lo tanto la estética es la encargada de estudiar la belleza; proporcionando normas y métodos para objetivarla.

Hace 35.000 años, en el paleolítico, el hombre comienza a desarrollar su sentido de lo bello, pues la supervivencia empieza a hacerse menos ardua. Este despertar de la sensibilidad, tiene su representación en el arte primitivo que nos han dejado las pinturas rupestres, los utensilios utilizados en el día a día, y el estudio de los restos arqueológicos hallados en numerosas excavaciones.

No fue hasta el desarrollo de la cultura en el Valle del Nilo, hace 5.000 años, cuando se consideraron ciertos cánones como representativos del ideal de belleza, armonía y proporción, que han quedado reflejados en los monumentos, las pinturas y las tumbas de la época. La legendaria Reina Nefertiti (Fig.3.2.2.1), reina de la dinastía XVIII de Egipto y esposa de Akenatón, representa ese cambio en la estética respecto al pasado. Su perfil facial, sus rasgos equilibrados y su mandíbula bien desarrollada, son exaltados como ejemplo de canon de belleza como expone en su libro de historia Hart-Davis (38).

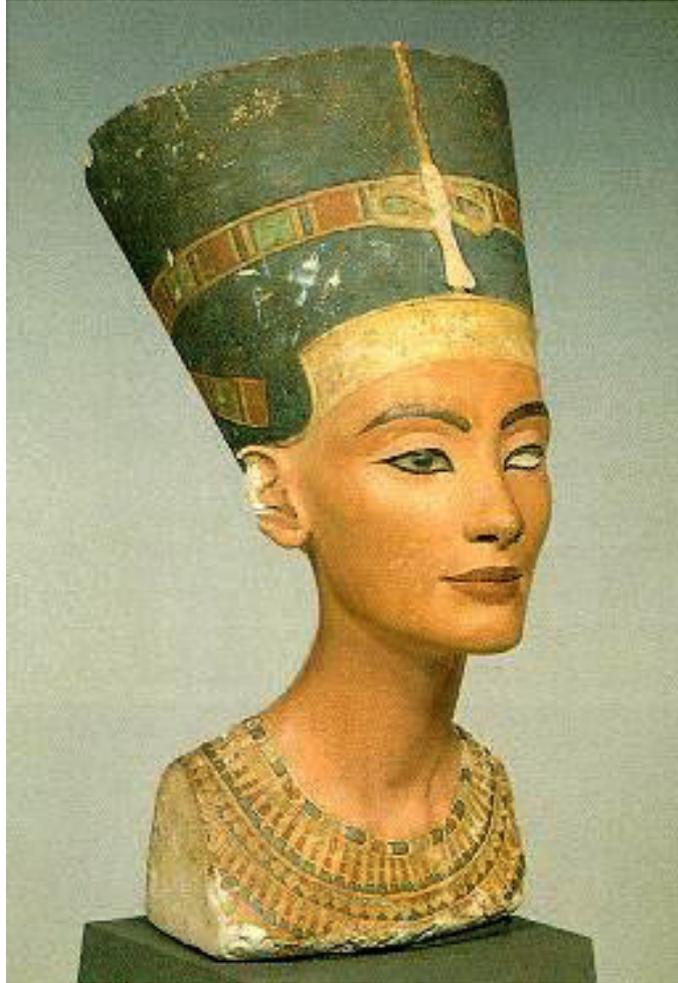


Figura 3.2.2.1.: Busto de Nefertiti 1370 a.C-1330 a.C.
Museo Egipcio de Berlín.

La cultura griega fue la gran impulsora del gusto por lo estético, preocupándose por analizar la armonía en las formas y la proporción de las dimensiones. Fueron los filósofos griegos los que introdujeron el término “estética” y lo aplicaron al estudio de las razones por las que la persona o el objeto resultaban bellos o agradables a la vista. Describieron las primeras leyes geométricas que debían ser respetadas para que la armonía de la línea y el equilibrio de las proporciones provocaran una sensación agradable en el observador, estableciendo unos cánones de belleza que aún seguimos aplicando como guías, esenciales para poder alcanzar la armonía en la forma y la proporción.

Los romanos tenían un concepto de la estética muy influenciado por los artistas y filósofos griegos. Se limitaron a copiar las obras y las ideas de los griegos sin añadir nuevos conceptos, pero dando un mayor realismo a su arte como se aprecia en su escultura y mosaicos.

La oscuridad de la época medieval silenció el interés por el estudio de la estética. Este interés volvió a resurgir en el Renacimiento. La obra de Miguel Ángel está muy identificada con la tradición griega y romana, caracterizándose por la naturalidad y la proporcionalidad en sus formas.

Leonardo Da Vinci dibuja al hombre con proporciones matemáticas ideales en su cuerpo y su rostro (Fig.3.2.2.2), siguiendo los ideales de belleza de Vitrubio, arquitecto romano. Tipificó la nueva integración de arte y ciencia con su búsqueda interminable de explicaciones matemáticas para fenómenos naturales. Estudió la cara desde todos los ángulos para dar con alguna fórmula aritmética de la forma y la belleza facial como demuestra su legado en forma de esquemas y dibujos (39).

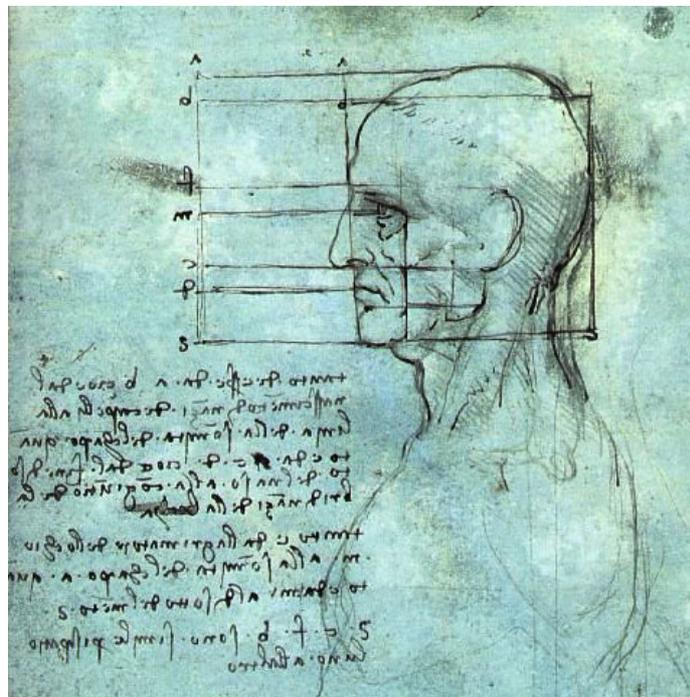


Figura 3.2.2.2.: *Estudio sobre las proporciones*. Da Vinci L
Zöllner F. Leonardo da Vinci. Sketches
and Drawings. Köln: Taschen; 2004.

Durante los últimos siglos, creció el mito de que los antiguos griegos estaban sujetos a una proporción numérica específica, esencial para sus ideales de belleza y geometría. Dicha proporción es conocida con los nombres de Razón Áurea, Media Áurea, o Divina Proporción. Esta Razón Áurea sigue manteniendo un cierto atractivo como modelo de belleza según expone en su libro Toman R (40).

El valor numérico de esta razón, que se simboliza normalmente con la letra griega "fi" (ϕ), (en honor al escultor griego Fidias), es: 1,618234...

La fama que tiene de estético le viene dada por el Rectángulo Áureo (Fig.3.2.2.3) cuya altura y anchura están en la proporción 1 a ϕ



Figura 3.2.2.3.: Rectángulo Áureo

Es decir, si siendo su altura a y su anchura b se cumple que:

$$\frac{b}{a} = \phi = 1,618034\dots$$

Aunque esto nos lleve a pensar en la belleza como algo matemático, es indudable que el periodo histórico y sus tendencias culturales, dan al concepto de belleza un campo mucho más amplio que el limitado por un valor numérico.

Siguiendo el hilo de las diferentes épocas históricas, nos centramos a continuación en el siglo XVIII, donde las representaciones anatómicas conocidas como *moulages* pudieron ser el origen de los futuros modelos esterolitográficos que ahora conocemos. Dichos *moulages*, o representaciones en cera de estructuras anatómicas, se realizaban mediante una técnica desarrollada en Italia y Alemania.

Este arte era llevado a cabo por los ceroplastas anatómicos de la época, entre los que destacan Gaetano Giulio Zumbo y Felice Fontana, los cuales confeccionaban un modelo en barro a partir del cual creaban un molde. En este vertían cera, y al fraguarse dicha cera, la retiraban del molde obteniendo una réplica del modelo original. Los pequeños detalles anatómicos y cromáticos se aplicaban en una última fase con el modelo así creado, según explica Sailer en su artículo sobre la esterolitografía y su utilidad en la planificación quirúrgica (41).

Los modelos esterolitográficos anatómicos actuales nos proporcionan una réplica en 3D y en proporción 1:1 de una región anatómica a partir de los datos obtenidos de una Tomografía Computerizada (TC), como detalló Arvier en su trabajo “Maxilofacial biomodelling”, en 1994 (42). De esta manera podemos trabajar con una réplica exacta de lo que vamos a ver en quirófano.

Los modelos esterolitográficos han jugado un importante papel en la evolución de la planificación quirúrgica, y han sido el paso previo a la planificación informática en 3D. Es un método de trabajo ampliamente difundido por las ventajas que aporta su tridimensionalidad, pero con limitaciones que expondremos en puntos sucesivos. Los modelos esterolitográficos son obtenidos a partir de técnicas de fabricación asistida por ordenador, donde el resultado final es un modelo de resina creado a partir de pruebas radiológicas como la tomografía computerizada. La alta precisión de las estructuras anatómicas obtenidas, tiene su punto débil a nivel de las piezas dentales, donde la esterolitografía no aporta la precisión necesaria, como ya explicó en el año 2000 Taha en su trabajo (43).

En los siglos XIX y XX, coincidiendo con el desarrollo de todas las técnicas audiovisuales (fotografía, cine, televisión, informática), se produce una revolución en los criterios estéticos. Los movimientos migratorios y la globalización han hecho que la estética en el momento actual esté muy influenciada por las tendencias o modas del momento que a su vez son catapultadas por el cine, la televisión, internet...

Esta breve introducción histórica, nos servirá para entender mejor, en posteriores apartados, los trabajos, programas informáticos y técnicas de tratamiento de imágenes, que han contribuido a la evolución en los métodos de análisis, diagnóstico y predicción de resultados en cirugía ortognática.

3.3. Desarrollo y anatomía del macizo facial

3.3.1. Aspectos generales de la anatomía facial

La cabeza se puede dividir en dos unidades claramente diferenciadas en cuanto a forma, estructura y función: el cráneo propiamente dicho, que aloja y protege a la masa encefálica, está formado por ocho huesos (frontal, etmoides, occipital, esfenoides, parietales y temporales), y el esqueleto facial, situado por debajo de la mitad anterior de la base del cráneo, y consta de catorce huesos (mandíbula, maxilar, palatinos, vómer, etmoides, malares, apófisis cigomáticas de los huesos temporales, unguis y huesos propios nasales) de origen membranoso que forman un entramado de oquedades, algunas neumatizadas y otras donde se alojan órganos sensoriales. Durante el desarrollo, desde la etapa neonatal hasta la edad adulta, se producen una serie de cambios fisiológicos en estas estructuras. Uno de los más evidentes, se debe al hecho de que la masa encefálica se desarrolla casi exclusivamente durante la etapa de gestación fetal, por lo que la cavidad craneal se desarrolla menos que el resto del cuerpo, incluida la cara, tras el nacimiento. Así pues, al nacer, el ser humano tiene un cráneo proporcionalmente mucho mayor que la superficie facial, característica que con los años va cambiando, y como resultado, esta proporción va igualándose gracias a un mayor desarrollo de la región facial que de la bóveda craneal, como exponen los diferentes tratados de anatomía, entre ellos el de Rouvière (12).

Es importante subrayar que en toda la unidad craneofacial solo existe una unidad articular móvil, que es la articulación temporomandibular, formada por el cóndilo del hueso mandibular y la cavidad glenoidea del hueso temporal. Las articulaciones craneomandibulares (ACM), o articulaciones tempomandibulares (ATM), son diartrosis bicondilares cuyas superficies óseas están separadas por un menisco interarticular, ubicado en una cápsula ligamentosa que rodea las partes óseas, y al insertarse en ellas configura un manguito funcional como puede apreciarse en los dibujos de los Atlas de Anatomía Humana de Netter (44) y de Boileau (45), y como también explica Rouvière en sus trabajos de anatomía (12).

3.3.2. Desarrollo embriológico

La cara se forma entre la cuarta y la octava semana del periodo embrionario, gracias al desarrollo de cinco mamelones o procesos faciales: mamelón cefálico o frontonasal, los procesos maxilares y los procesos mandibulares.

Durante la sexta y séptima semanas, los procesos maxilares crecen simultáneamente en dirección medial, comprimiendo los procesos nasales hacia la línea media. Posteriormente queda cubierta la hendidura que se encuentra entre el proceso nasal interno y el maxilar, ambos procesos se fusionan. En consecuencia, el labio superior es formado por los dos procesos nasales internos y los dos procesos maxilares.

El labio inferior y la mandíbula, se forman a partir de los procesos mandibulares, que se fusionan en la línea media.

La nariz se formará a partir de cinco prominencias faciales: prominencia frontonasal, los mamelones nasales externos y los procesos nasales internos.

Las crestas palatinas derivadas de los procesos maxilares se fusionan en la séptima semana dando lugar al paladar secundario.

Si bien los arcos branquiales le dan a la cabeza y el cuello una apariencia típica, en el periodo postnatal, la aparición de los cornetes nasales, senos paranasales y dientes, proporcionan a la cara su forma adulta definitiva como expone Philippa en el 2003 en su libro sobre el desarrollo craneofacial (46).

3.3.3. Patrón de crecimiento craneofacial

Como resultado de las diferentes funciones del cráneo y la cara, también el desarrollo peri y postnatal transcurre de diferente manera en ambas regiones anatómicas. Los huesos del cráneo están separados por suturas (coronal, escamosas, lambdoidea y sagital) que tienen dos importantes funciones: por un lado, mantener la maleabilidad de la cabeza al pasar por el canal del parto, y por otro, mantener una separación entre los huesos del cráneo que desaparece por completo tras los 24 meses de vida. Estas suturas actúan como centros de crecimiento donde se crea nuevo hueso en respuesta a la expansión del neurocráneo, que va cerrándolas y acomodando el aumento de tamaño del cerebro. El cierre prematuro de estas suturas causará inevitablemente una restricción en el desarrollo de los vectores de crecimiento, y como consecuencia, dará lugar a diferentes tipos de craneosinostosis según la sutura afectada. Por el mismo mecanismo de cierre prematuro se producen alteraciones cerebrales, como por ejemplo, la microcefalia como explica McCarthy en su compendio de cirugía craneofacial (47).

En cuanto al complejo maxilo-mandibular, también son diversas las causas que pueden conllevar una malformación anatómica. Así pues, una protuberancia dental, por ejemplo, frecuentemente acompaña al paciente prognático en un intento por conseguir un balance oclusal fisiológico. La raza juega un papel crucial en el momento de juzgar donde está el límite entre la “normalidad” y la malformación anatómica; el prognatismo es el patrón facial más frecuente entre la población China, Japonesa, Negra y Aborigen de Australia, presentando un balance oclusal fisiológico y una armonía estética en la gran mayoría de casos como nos expone Proffit en su libro (2).

En el crecimiento facial fisiológico, el tercio facial inferior o mandíbula, se desplaza hacia adelante más que el maxilar superior. Por otro lado, el crecimiento vertical es mayor en la rama mandibular que en la región anterior del cuerpo mandibular. Con la erupción de los incisivos permanentes, la arcada dental tiende hacia la protusión. Las diferencias en el crecimiento también varían en

función del sexo, de tal forma, que en las mujeres no se observan cambios en las medidas ni las proporciones faciales más allá de los 14 años mientras que en los hombres siguen produciéndose cambios hasta los 20 años por norma general.

Enlow (48), en 1972, estudió los diferentes patrones de crecimiento craneofaciales en ocho zonas anatómicas: tuberosidad maxilar, cóndilo mandibular, parte posterior del cuerpo mandibular (unión rama-cuerpo), borde anterior y posterior de la rama mandibular, superficie del arco maxilar y mandibular, región posterior del suelo craneal anterior, el plano oclusal y la unión esfeno-etmoidal. Describió los centros de crecimiento como regiones concretas del esqueleto craneofacial. Según el comportamiento evolutivo de cada uno de estos centros de crecimiento, se producirá un efecto u otro sobre la oclusión, el maxilar, la mandíbula...

El mismo autor, once años más tarde, publica un artículo que pone de manifiesto los diferentes patrones de crecimiento entre la raza negra y la caucásica (49), poniendo de relieve las diferencias fisiológicas en cuanto a posición del complejo maxilo-mandibular que pueden observarse.

3.4. Estudios diagnósticos preoperatorios

Los estudios cefalométricos se utilizan para cuantificar diferentes medidas antropométricas de la región craneofacial. Gracias a ellos, se puede objetivar una deformidad dento-esquelética, por exceso o por defecto, hacer un diagnóstico y planificar un tratamiento. No son el único tipo de estudio, y actualmente complementan a otras pruebas o estudios, como veremos más adelante, para llegar a un correcto plan de tratamiento. Si analizamos la evolución de los estudios cefalométricos y el material utilizado para su realización (papel, lápiz, radiografías), los cambios más significativos se han producido en los últimos años. Aún así, es importante resaltar cómo algunos de estos estudios cefalométricos siguen teniendo un papel importante en la planificación del tratamiento, ya que han sido la piedra angular a partir de la cual se han desarrollado nuevos trabajos y ha evolucionado la forma de planificar los casos.

Fue la ortodoncia el campo que primero estudió la posición de la mandíbula, del maxilar superior y de los dientes, así como sus relaciones en el conjunto del esqueleto craneofacial. Desde el trabajo original de Broadbent BH en 1934 (50), han aparecido numerosos artículos sobre el estudio cefalométrico. Autores como Tweed (51), Downs (52), Steiner (53), Ricketts (54), Riedel (55), Enlow (56), Björk (57), Burstone (58), entre otros, introdujeron una serie de puntos de referencia que permitieron estudiar las proporciones craneofaciales, así como la evolución de diferentes medidas lineales y angulares durante las diferentes fases del crecimiento.

El estudio cefalométrico es un elemento descriptivo que pone de manifiesto una determinada relación entre las diferentes estructuras craneofaciales. Los primeros estudios cefalométricos, y la mayoría de ellos, han llegado desde el campo de la ortodoncia realizándose a partir de la telerradiografía de perfil y el estudio clínico del paciente. La aparición de los ordenadores personales y la fotografía digital supuso una evolución en la planificación preoperatoria, pues dieron paso a la aparición de programas informáticos,

destinados a sustituir la planificación convencional, como veremos en sucesivos apartados.

En este punto creemos importante enumerar, como ya hizo Steiner (53), las ventajas que aporta un análisis cefalométrico preoperatorio:

- Análisis del problema
- Obtención de soluciones
- Evaluación de resultados
- Mejorar los conocimientos en el campo de la ortodoncia

Los estudios cefalométricos están basados en una serie de puntos, los cuales dan lugar a medidas lineales y angulares con unos rangos de normalidad descritos a partir de estudios anatómicos antropométricos y epidemiológicos realizados con anterioridad, y pueden alejarse de este rango por defecto o exceso en las diferentes alteraciones dento-esqueléticas. Las medidas comprendidas dentro del rango de la normalidad pueden tener ligeras variaciones según el estudio utilizado para el análisis: edad, sexo y raza del paciente.

Los estudios cefalométricos fueron y son un instrumento que permite al clínico cuantificar el problema dento-esquelético a tratar.

Durante la segunda mitad del siglo XX, cada vez más, ortodoncista y cirujano fueron “acercándose” a unos planes de tratamiento conjuntos que mejorarán los resultados. Muchas de las deformidades dentofaciales no se podían corregir exclusivamente mediante ortodoncia, y tampoco el tratamiento quirúrgico aislado podía proporcionar una perfecta oclusión. Es por esta razón, que cirujanos y ortodoncistas han trabajado coordinadamente hasta el punto de que en el momento actual no se concibe un tratamiento exclusivamente quirúrgico.

En 1955, Downs se preguntó “¿ *Que es la excelencia en el tratamiento ortodóncico-ortognático?*”. Lo resumió en tres puntos (52):

1. Conseguir una correcta oclusión
2. Proporcionar un balance fisiológico
3. Llegar a proporcionar una armonía en el perfil facial

Ya se utilizaban términos como ‘armonía facial’ en esos primeros trabajos, aunque estaban en una posición inferior en cuanto a “objetivo prioritario” de tratamiento, y no se disponía de las pruebas de imagen y la tecnología que actualmente está a nuestra disposición para el estudio preoperatorio. La proporción y armonía facial a la que Downs (52) se refería, tenía mucho que ver con el Arco de Perfil que definió, y que estaba formado por la línea que unía los puntos Nasion (entre la glabella frontal y el límite craneal de los huesos propios nasales), el punto A (Subnasal) y el punto Pg (punto de máxima concavidad a nivel de la sínfisis mandibular). Fue una primera aproximación en busca de un correcto resultado estético, que por su simplicidad y utilidad sigue vigente actualmente. Aun así, es importante remarcar que la relación entre las arcadas dentales y el Arco de Perfil, es muy similar en cualquier tipo de cara cuando existe una correcta oclusión.

Los estudios cefalométricos empezaron a utilizarse en la práctica habitual. Cada uno de estos estudios nos proporciona una serie de puntos de referencia que originan unas medidas lineales y unas medidas angulares en el esqueleto craneofacial, en los tejidos blandos que conforman la máscara facial y en las piezas dentales. Estas medidas obtenidas son comparadas con unas medidas “ideales” que pueden variar en función del estudio cefalométrico utilizado, la raza del paciente y el sexo, como ya hemos apuntado anteriormente. Se obtienen unos resultados, producto de estas mediciones, con excesos y/o defectos que nos orientan a realizar un tratamiento ortodóncico, quirúrgico, o ambos, para conseguir unas medidas lineales y angulares dentro del rango de la normalidad,

definido por el estudio que utilizamos, así como unas relaciones oclusales óptimas.

Steiner (53), en 1956, concluyó uno de sus trabajos, asegurando que el uso de los estudios cefalométricos en ortodoncia estaba creciendo rápidamente, dando una información importante y vital para una buena terapia ortodóncica, aunque en muchos casos, los resultados obtenidos no se habían expuesto con claridad y precisión matemática. En ese momento, se utilizaban estos análisis en el campo de la ortodoncia, pero no aún en cirugía, y esa fusión de conceptos entre las dos especialidades todavía se demoró unos años.

Ya en 1968 Delaire (59) habla de cómo la osteotomía del maxilar superior puede ser de utilidad, combinándola con el tratamiento ortodóncico, iniciando una línea de estudios y trabajos que no ha cesado, y que relacionan movimientos óseos tras osteotomías, con resultados a nivel estético en los tejidos blandos. Este autor ha influenciado a sus contemporáneos y siguientes generaciones, gracias al detallado análisis que realiza de los tejidos blandos que forman la máscara facial (60-61).

McNeil (62), en 1972, fue el primero en describir de forma clara, el uso del estudio cefalométrico para la predicción de resultados post IQ. Otros, antes, describieron su uso en el diagnóstico y plan de tratamiento, pero no como instrumento para la predicción de resultados.

Robinson (63) intentó cuantificar los cambios en el tejido blando, en función de los movimientos esqueléticos en la corrección del prognatismo mandibular mediante plantillas de acetato, superponiéndolas a las imágenes pre IQ, método que aún sigue vigente, utilizándose por muchos especialistas.

Fish y Epker (64) perfeccionaron esta técnica, con la descripción de nuevos puntos de referencia que facilitarían este tipo de estudio.

Bell, Proffit y White (65) propusieron el uso de estas plantillas de acetato, combinadas con el estudio de la cirugía de modelos, para estudiar los cambios del esqueleto óseo, que no se llegan a apreciar solo con los modelos dentarios. Buscaban mejorar la predicción de resultados combinando información aportada desde diferentes estudios.

Sarver (66) y Thomas (67), concluyeron en sus trabajos, que la mayoría de los pacientes creían que mediante técnicas de video e imagen, se mejoraba la comunicación entre el cirujano y el paciente, aumentaba la confianza del paciente en la cirugía, y potenciaba positivamente la relación médico-paciente.

En un primer momento los estudios cefalométricos buscaban la oclusión dental perfecta (Paradigma de Angle), como objetivo primordial relegando a un segundo plano el resultado estético. Con el tiempo, se empezó a dar una gran importancia a los tejidos blandos que conforman la máscara facial (Paradigma de los Tejidos Blandos), y se constató la dificultad a la hora de predecir los resultados del tratamiento sobre tejidos blandos (2).

Arnett (68, 69), en 1993, presentó su “Análisis Cefalométrico de los Tejidos Blandos”, donde estudiaba los cambios asociados a los tratamientos ortodóncico y/o quirúrgicos por maloclusión. En su trabajo, adquiere especial importancia el estudio clínico facial del paciente con la cabeza en posición natural (posición de la cabeza cuando el paciente mira a un objeto situado en el horizonte). Analiza diecinueve rasgos faciales, y cómo la corrección ortodóncica y/o quirúrgica, puede alterar estos rasgos de forma negativa (disarmónico, no fisiológico), o positiva (armónico, fisiológico). Movimientos dentales realizados para solucionar una alteración oclusal, pueden afectar negativamente a la estética facial. Por esta razón, Arnett llega a la conclusión de que el tratamiento, para corregir una malformación dentoclusal, basado en un análisis de modelos o en un análisis cefalométrico sin un preciso análisis clínico facial, es inadecuado.

En su trabajo concluye invitándonos a analizar tres conceptos ante cada caso clínico:

- Análisis de los rasgos faciales
 - . Positivos
 - . Negativos
- Estudiar el cambio de estos rasgos faciales tras el tratamiento ortodóncico.
- Estudiar cómo el tratamiento quirúrgico influirá, positiva o negativamente, en los rasgos faciales

En el pasado, se asumió que la corrección de la oclusión mediante la cirugía de modelos, puede conseguir los objetivos faciales y dentales, incluyendo la armonía facial. La experiencia en diferentes estudios ha demostrado que el diagnóstico mediante la cirugía de modelos exclusivamente, es incompleto, y las predicciones sobre cefalometrías que se centraban en el estudio de los tejidos blandos, han ido en aumento desde la década de los años setenta. Prueba de ello son los trabajos de Holdaway (70), Burstone (58), Arnett (68-69), Delaire (59-60), Talaas (71) y Drobocky (72), entre los más destacados autores que estudiaron la influencia de la cirugía y/o la ortodoncia, en el resultado a nivel de tejidos blandos faciales.

Como hemos apuntado anteriormente, el diagnóstico, o la percepción de belleza estudiada exclusivamente a partir de los análisis óseos cefalométricos convencionales, no es un método diagnóstico fiable según Arnett (68,69). Cuando se utilizan diferentes estudios cefalométricos en un mismo paciente, surgen diferentes diagnósticos y diferentes planes de tratamiento. Un tratamiento basado sólo en el estudio cefalométrico de tejidos duros, puede crear frecuentemente cambios faciales no deseados, como demostraron Park y Burstone (73), Legan y Burstone (74), en la década de los años ochenta.

Aparte de los estudios de modelos y los análisis cefalométricos de los que ya hemos hablado en puntos anteriores, un tercer método diagnóstico cobró especial importancia en la década de los noventa: el análisis clínico facial mediante la exploración física y la fotografía. El estudio de modelos, y los estudios cefalométricos sobre tejido óseo, se siguieron evaluando, pero la clave para un correcto diagnóstico y plan de tratamiento, se basa en la percepción clínica del tamaño, forma y la posición de las diferentes partes del tejido blando facial, como ya argumentó Arnett en sus trabajos (68,69).

En el trabajo presentado por Sinclair (75), en 1995, se concluyó que un 70% de los pacientes intervenidos tenían una motivación estética, y recalcó la importancia de obtener unos resultados predecibles. Recogió tres modos, por los cuales se podía obtener una predicción de resultados a partir de una telerradiografía lateral de cráneo:

- Mediante la utilización de láminas de acetato sobre el trazo cefalométrico original, reposicionando el maxilar superior y/o la mandíbula en la posición planificada, como expuso McNeil (62). En este caso, destacaba algún inconveniente: la variabilidad en el comportamiento de los tejidos blandos y el hecho de trabajar en dos dimensiones sobre la telerradiografía de perfil.

- Introduciendo en un PC los datos de un trazado cefalométrico, como publicó Harradine (76), superpuestos sobre la telerradiografía lateral de cráneo digitalizada. Seguimos trabajando en dos dimensiones, aunque ganamos en precisión en el momento de realizar mediciones, y la dificultad que representa la superposición de estructuras anatómicas contralaterales, también es menor que en la telerradiografía lateral convencional.

- Combinando una cefalometría digitalizada en el PC con imágenes del paciente. Esta técnica es más precisa en la predicción y permite una mayor y mejor interacción entre médico y paciente durante la fase de planificación. Este método, como demostró Turpin (77), mejora la planificación de decisiones. Aun así seguimos sin contar con la tercera dimensión.

El resultado estético óptimo es tan importante como el resultado oclusal o incluso más en muchos de los pacientes intervenidos como constató Sinclair (75). El hecho de que los estudios cefalométricos iniciales nos llegaran desde el campo de la ortodoncia, explica esa focalización de los objetivos hacia la oclusión, como exponen algunos autores, entre ellos Epker (1) y Proffit (2), en sus respectivas publicaciones sobre el tratamiento de las deformidades dentoalveolares.

Los estudios cefalométricos convencionales se basan en mediciones sobre papel o radiografía; en ambos casos estamos utilizando un sistema bidimensional para estudiar una estructura tridimensional. Es aquí donde el desarrollo tecnológico de los últimos años ha marcado la diferencia respecto a los estudios cefalométricos previos. La creación de sistemas y programas informáticos más potentes, la disponibilidad de pruebas de imagen de alta resolución (como la tomografía computerizada), así como el desarrollo de la fotografía digital, han hecho posible la creación de imágenes en 3D sobre las que trabajar y poder realizar el estudio preoperatorio del paciente y el plan de tratamiento.

Aún así, estos sistemas no solucionan el principal problema que presentan los estudios cefalométricos convencionales en cuanto a la predicción de resultados: los tejidos blandos. La superposición de estructuras anatómicas en la telerradiografía de perfil, supone una pérdida en la precisión de las mediciones, debido a la dificultad que existe para apreciar con exactitud determinados puntos anatómicos. Debe tenerse en cuenta también, la diferencia -en cuanto a precisión se refiere- entre una radiografía convencional y una tomografía computerizada, o las variaciones en la posición craneofacial del paciente entre dos radiografías, como expone en sus trabajos Xia (78,79) y Gateno (80).

No solo el estudio cefalométrico ha formado parte de la valoración preoperatoria del paciente; el estudio de modelos dentales también ha sido un elemento clave en este sentido. Estos modelos de las arcadas dentarias del paciente son la única información física tridimensional de la que disponemos en

el estudio preoperatorio convencional, y su montaje en el articulador será indispensable para la creación de las Férulas Quirúrgicas, como veremos más adelante. Usar una férula quirúrgica intermedia para una precisa recolocación del maxilar requiere una importante preparación. Un adecuado montaje de los modelos en el articulador y una precisa cirugía de modelos son etapas esenciales para la correcta fabricación de férulas quirúrgicas, como ya demostraron en sus trabajos Ericsson (81) y Nattestad (82).

Las férulas quirúrgicas son una herramienta que nos permite obtener durante la operación una correcta oclusión y una relación maxilo-mandibular adecuada, trasladando al quirófano nuestro plan de tratamiento. El estudio de modelos y su montaje en el articulador son los elementos necesarios para crear estas férulas. Con la evolución de la tecnología Cad/Cam se ha conseguido crear férulas quirúrgicas a partir de datos informatizados obtenidos tras realizar una simulación quirúrgica en la pantalla de un ordenador personal en un escenario tridimensional 3D, como han demostrado Xia (78,79) , Gateno (80,83-85) y Metzger (86).

Es importante hacer hincapié en los modelos craneofaciales esterolitográficos como método de estudio preoperatorio. Aunque la Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada (RA) aún están en la infancia, en cuanto a su desarrollo en cirugía ortognática no ocurre lo mismo con los modelos esterolitográficos. El primer modelo esterolitográfico de una cabeza humana en la historia contemporánea data de 1.965 y fue creada por Evans y Sutherland como expone Machover en su publicación (87).

Para hacer más comprensible el método de trabajo que estamos evaluando, es importante explicar que es la esterolitografía y cuales son sus fundamentos tecnológicos. Esterolitografía es la denominación que se da al proceso destinado a crear modelos físicos tridimensionales a partir de datos informatizados. El término esterolitografía fue acuñado en 1986 por Charles W. Hull, con la patente denominada *StereoLithographic Apparatus* . Provocando una serie de reacciones fotoquímicas mediante un láser, se crea una réplica tridimensional en material

plástico de la imagen representada en un ordenador personal. En la figura 3.4.1 esquematizamos este proceso: el ordenador, a partir de unos datos informatizados que en nuestro caso serán los obtenidos de la Tomografía Cone Beam (CBCT), dirige un láser a través de una superficie de un plástico fotopolimerizable en estado líquido (polimerizar: crear moléculas grandes a partir de moléculas pequeñas; todos los plásticos comunes se forman de polímeros grandes), convirtiéndolo punto por punto en sólido. Este proceso se realiza por capas; de esta manera, una vez el láser ha convertido en material sólido todos los puntos de una capa, empieza a crear una capa superior y así progresivamente hasta conformar toda la estructura tridimensional sólida. Cuando el proceso se ha completado, se puede retirar el modelo del recipiente obteniendo una réplica exacta del objeto que tenemos representado en nuestra pantalla de ordenador.

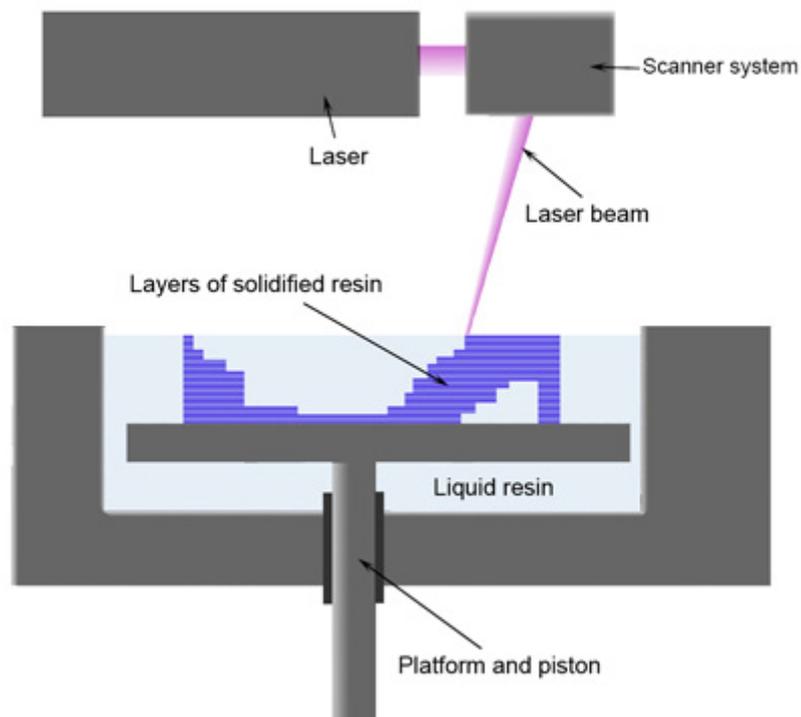


Figura 3.4.1.: Esquema del proceso de esterolitografía por fotopolimerización.

En la actualidad, los modelos esterolitográficos se han utilizado ampliamente en el campo de la cirugía craneofacial para el estudio de malformaciones complejas, así como en pacientes sometidos a grandes

movimientos de distracción ósea, como estudió Sailer (41). En el caso de la cirugía ortognática, estos modelos pueden presentar algunas limitaciones respecto a los métodos convencionales de estudio preoperatorio. Por ejemplo, resulta un inconveniente repetir indefinidamente el plan de tratamiento con modelos esterolitográficos por dos razones:

- Su elevado coste económico
- Una vez realizada la simulación de la osteotomía en el modelo esterolitográfico, no se puede corregir esta osteotomía sobre el mismo modelo.

Estos modelos esterolitográficos tampoco aportan información de los tejidos blandos, no representan con alta precisión los pequeños detalles anatómicos, además de estar altamente influenciados por artefactos radiológicos en los datos obtenidos a partir de la tomografía computerizada; son más caros y su manufacturación consume más tiempo según Sailer (41) y Girod (88).

D'Hauthuille (89), en 2.005, comparaba férulas creadas a partir de modelos esterolitográficos, con férulas creadas a partir de tecnología Cad. Se constata la precisión de ambas técnicas para su aplicación clínica y se remarca la utilidad del Cad para la colocación de distractores cercanos al nervio dentario y también el hecho de ser un proceso más rápido para la obtención de las férulas. Aun así, como en la mayoría de trabajos sobre Cad/Cam, se concluye subrayando la importancia en el desarrollo de nuevos programas informáticos.

Girod (88), concluyó que los sistemas de imagen 3D y video ayudan a minimizar riesgos y a acortar el tiempo quirúrgico por la información que aportan y su utilidad en la planificación. Por otro lado, Santler (90), crea las férulas quirúrgicas a partir de la cirugía realizada sobre el modelo esterolitográfico, dándole a éste un papel crucial en el resultado final, ya que sustituye la cirugía de modelos convencionales por una cirugía de modelos esterolitográficos, donde no sólo queda representada la anatomía de la arcada dental, sino también la anatomía ósea facial.

3.5. Programas informáticos aplicados a la cirugía ortognática

La predicción de resultados en cirugía ortognática es una parte importante en el plan de tratamiento, e incluso en la elaboración del Consentimiento Informado, como ya expusiera en su trabajo Cousley (91). Prevenir falsas expectativas forma parte de la interacción con el paciente, por lo que instrumentos que aporten al clínico información en este aspecto, facilitará esta interacción clínico-paciente.

Walker (92), en 1.976, fue de los primeros en publicar su experiencia en el uso del ordenador para realizar estudios cefalométricos. Para ello, tomó como base los estudios de Ricketts (54), donde se analizaban los cambios faciales durante el crecimiento, desarrollando estudios poblacionales que aportaron unas medidas lineales y angulares estándar, con unos rangos de variación fisiológicos para cada una de estas medidas.

Sarver (66), en 1.988, estudió de qué manera influían las técnicas de imagen y vídeo en la planificación y resolución de los casos en cirugía ortognática. El 89% de los pacientes del estudio, creyeron que la predicción de resultados postquirúrgicos mediante estas técnicas era realista, y el 72% manifestaron que estos métodos permitían su participación en decisiones específicas del tratamiento.

Para llegar a crear un programa informático como el estudiado en este trabajo, han sido necesarios años de evolución en diferentes campos tecnológicos, como la informática, la fotografía, pruebas de radiodiagnóstico y telemedicina. Por esta razón, nos ha parecido importante comentar cómo fueron los ‘inicios’ que han permitido llegar al grado de sofisticación actual.

El desarrollo de la Tomografía Computerizada (CT) y las reconstrucciones 3D durante la década de los años setenta, constituyeron una revolución en el diagnóstico por la imagen, gracias a que hicieron posible visualizar imágenes

sectoriales de la región anatómica estudiada, como subraya en sus artículos Xia (78,79).

Posteriormente, en la década de los ochenta, las imágenes tridimensionales de la tomografía computerizada, devinieron una ventana frecuente a través de la cual el radiólogo podía estudiar complejas estructuras anatómicas, como por ejemplo, las situadas en la base del cráneo. Cada vez más esta prueba de imagen, con reconstrucciones tridimensionales, se está convirtiendo en una fuente de información preoperatoria habitual en Cirugía Ortognática, por la precisión que nos aporta de regiones craneofaciales de alta complejidad anatómica, como nos explica Gateno en algunos de sus trabajos (83-85).

Actualmente, la aparición de la tomografía computerizada de haz cónico (Fig.3.5.1), ha revolucionado el diagnóstico por imagen en la consulta del Cirujano Maxilofacial y el Odontólogo, pues permiten obtener imágenes tridimensionales del macizo facial y los dientes con el paciente sentado (no en decúbito supino como en la tomografía computerizada convencional), y con una dosis de radiación muy inferior a la generada por los escáneres convencionales. Este tipo de tomografía sufre menor distorsión de las imágenes por estructuras metálicas intraorales (como el material metálico utilizado en ortodoncia por ejemplo), y acortan el tiempo necesario para la toma de imágenes respecto a las tomografías computerizadas convencionales según dejan patente en sus trabajos Lagravère (93) y Dula (94).



Figura 3.5.1.: Cone Beam Computer Tomography. *Instituto de Cirugía Maxilofacial e Implantología, Clínica Teknon. Barcelona.*

La fotografía digital, y más concretamente la fotografía 3D, juega un papel importante en el estudio preoperatorio aportándonos imágenes tridimensionales de la cara del paciente. En el Instituto de Cirugía Maxilofacial e Implantología del Centro Médico Teknon, utilizamos rutinariamente un sistema de fotografía 3D formado por 4 cámaras digitales Canon Eos 350, montadas sobre una estructura metálica, para el estudio de los casos clínicos. Este sistema tiene la desventaja, respecto al software estudiado, de no poder captar imágenes en 3D del esqueleto craneofacial, por lo que es la combinación de diferentes pruebas (CT o CT Cone Beam, cefalometría, fotografía 3D, modelos dentales...), lo que nos da toda la información necesaria para realizar la planificación del tratamiento. Por el contrario, esta misma información, mediante el nuevo método de planificación

preoperatoria, nos llega a partir de una sola fuente: las imágenes 3D en la pantalla de nuestro PC.

Con la aparición de la tecnología Cad/Cam, que en nuestro idioma se traduce como Diseño Asistido por Ordenador y Fabricación Asistida por Ordenador, se ha iniciado un proceso a través del cual, mediante programas informáticos que procesan los datos obtenidos por la CT convencional o CT Cone Beam, se obtienen imágenes en 3D con las que realizar un plan de tratamiento, una cirugía virtual, predicción de resultados y la fabricación de férulas quirúrgicas que trasladarán nuestro plan de tratamiento al quirófano.

Hace tan sólo 25 años, cualquier dibujo técnico se realizaba utilizando papel y lápiz. Cuando se precisaban realizar cambios, era necesario borrar y volver a dibujar. Si el cambio era importante, se repetía el dibujo por completo. Si una modificación afectaba a otros documentos, se tenía que buscar a mano en cada uno de ellos y realizar los cambios necesarios. El diseño asistido por ordenador ha modificado este método de trabajo, mejorando la forma en que se llevan a cabo las tareas de diseño.

Los sistemas Cad, siendo originalmente una herramienta de dibujo 2D, han evolucionado a:

- 3D donde disponemos de las tres dimensiones espaciales: altura, anchura y profundidad.
- La realidad virtual (RV): sistema informático que genera entornos sintéticos en un tiempo real que nos permite interactuar con los mismos.
- Realidad Aumentada (RA): conjunto de dispositivos que añaden información virtual a la información física ya existente. A diferencia de la RV, no sustituye la realidad física, sino que sobreimprime los datos informáticos al mundo real.

Esta evolución ha ido paralela a la evolución tecnológica y a la accesibilidad a los ordenadores personales y a la informática.

La introducción del Cad en las ingenierías españolas, se produjo en la década de los años ochenta, especialmente entre los años 1986 y 1989. Se produce una rápida sustitución de las mesas de dibujo por la pantalla del PC.

Este cambio radical en los métodos de trabajo se debe esencialmente a dos razones:

1) Los programas se hacen más potentes y más fáciles de manejar.

2) El precio, tanto del PC como de los programas Cad entran en el umbral de accesibilidad económica.

La evolución de los sistemas informáticos ha provocado un cambio fundamental en la forma de realizar y gestionar proyectos, en la comunicación de la información y en la visualización en 3D. Los términos que hace años aparecían sólo en novelas de ciencia-ficción, forman parte en la actualidad, del diccionario donde buscar términos como por ejemplo ciberespacio, acuñado por el escritor William Gibson en su novela *Neuromancer* publicada en 1984 y que actualmente define el espacio virtual donde se encuentran objetos e identidades informáticas conectadas en red.

La tecnología asistida por ordenador, aplicada a la medicina, se desarrolló inicialmente en el campo de la neurocirugía, como queda constatado en los trabajos de Hohlweg-Majert (95) y de Masutami (96), para proveer al especialista de un elemento útil, durante el procedimiento quirúrgico, que permitiera delimitar con exactitud el tamaño, la morfología y la localización de diferentes patologías del Sistema Nervioso Central. Posteriormente, esta tecnología ha expandido su campo de acción a la patología de columna vertebral donde se ha demostrado de gran utilidad según Bastien (97), a la traumatología, como demuestra el trabajo de Blackwell (98), y a la traumatología aplicada a la

cirugía maxilofacial, gracias a sistemas de navegación por ordenador que permiten acceder a zonas anatómicamente difíciles de visualizar como expone en su trabajo Watzinger (99).

Existen cinco métodos de visualización, planificación y predicción quirúrgica en cirugía ortognática:

1. Mediante la superposición de los trazados con láminas de acetato, se puede predecir el resultado post quirúrgico como describieron Cohen (100), McNeil (62) y Henderson (101). Realizamos una plantilla del paciente que muestra su perfil de tejido óseo y también de tejido blando. Posteriormente, se traza una plantilla del perfil del hueso maxilar y el tejido blando que lo cubre, y realizamos la misma maniobra con la mandíbula. Estas dos plantillas se superponen a la plantilla original del perfil del paciente y se colocan en la posición planificada post quirúrgica visualizándose así el perfil final, tanto a nivel de estructuras óseas como de tejido blando.
2. Manipulación de fotografías del paciente ilustrando los resultados esperados, como expone Kinnebrew MC (102) en su trabajo.
3. Diagnóstico y planificación mediante programas informáticos que reproducen una línea del perfil del tejido blando, como resultado de la manipulación de cefalometrías laterales digitalizadas, como podemos leer en el trabajo de Power (103).
4. Diagnóstico y planificación computerizada con programas informáticos que integran imágenes fotográficas digitales, junto a cefalometrías de cráneo. Este método permite visualizar los cambios faciales por el paciente y el clínico, y así mostrar planes de tratamiento alternativos. La comunicación con el paciente y las expectativas reales post tratamiento, son características del estudio, que salen beneficiadas mediante este tipo de métodos como propugnaron en sus trabajos Sarver (66) y Sinclair (75)

5. Planificación y predicción de resultados en cirugía ortognática mediante tecnología 3D. Moss (104), en 1988, expuso este método tridimensional que muestra el comportamiento del tejido blando en función de los movimientos realizados sobre el esqueleto óseo.

Los trabajos que estudian la precisión en la predicción de resultados sobre tejidos blandos, son aun escasos, y las conclusiones obtenidas invitan a seguir estudiando este sistema de planificación y esperar que los costes económicos en la producción de las férulas quirúrgicas se abaraten como se exponen en los últimos trabajos de Metzger (86) y Xia (105)..

Hoy en día existen varios análisis computerizados que trabajan sobre la cefalometría lateral de cráneo. Estos métodos permiten analizar cada caso sobre la pantalla del ordenador en 2D. Estos programas se usan para predecir los cambios en el eje anteroposterior y en el eje vertical, como explica Cousley (91). Entre los más destacados están: Dentofacial PlannerTM, mostrando errores sistemáticos, más evidentes en las mediciones que tenían como referencia la mandíbula, según Schlutes (106), OPAL (Orthognathic Prediction Analysis), que ha demostrado ser preciso en la predicción de medidas angulares en la cefalometría lateral de cráneo, pero muestra un error sistemático en la predicción del plano oclusal, según Harradine (76).

Hing (107), demostró que en el programa Quick CephTM, medidas como la posición en el eje horizontal del labio inferior y la posición en el eje vertical del punto Pg' (Pogonion tejido blando: proyección sobre el tejido blando del punto más anterior del mentón), presentaban una discrepancia respecto a las medidas postoperatorias sobre trazados cefalométricos convencionales. Aunque el programa sobreestimaba los cambios en el eje antero-posterior e infraestimaba los cambios en el eje vertical, las principales diferencias y desviaciones estándar tendían a ser menores que las originadas tras el estudio manual convencional. Por último, destacar el programa TIOPSTM (Total Interactive Orthodontic Planning System), el cual no presenta diferencias estadísticamente significativas entre las

predicciones y el resultado postoperatorio, según demuestra Donatsky en sus dos publicaciones (108 y 109).

Para entender cómo el programa informático con el que hemos trabajado permite configurar imágenes en 3D a partir de los datos de la TC, es importante mencionar el concepto de “marching cubes” (cubos móviles) introducido por Wang (110), en su estudio. Mediante este sistema de trabajo informático, los datos que se procesan a partir de la tomografía computerizada, conforman unas estructuras tetraédricas en 3D que configuran una malla capaz de recrear una estructura anatómica. El algoritmo matemático de los “marching cubes” se usa habitualmente para extraer la forma y volumen de una superficie a partir de una colección de imágenes. Como veremos en el apartado “discusión”, los cambios postquirúrgicos en las estructuras anatómicas son más o menos complejos de representar mediante esta tecnología, en función del tejido anatómico que estemos estudiando (tejido óseo o tejido blando) debido a sus limitaciones para recrear la movilidad de un tejido biológico.

El software que hemos utilizado, ha sido diseñado para la visualización de estructuras anatómicas en 3D, su manipulación, la confección de un plan de tratamiento y la creación de férulas quirúrgicas. Pero, no es el único método de imagen derivado de la evolución tecnológica que se ha creado con estos fines como ya hemos visto.

Bhatia (111), en 1984, estudió un programa informático para el análisis cefalométrico que diagnosticaba deformidades dento-esqueléticas, ayudaba a realizar un plan de tratamiento, y predecía unos cambios en el perfil del tejido blando postratamiento. El único inconveniente era que carecía de la visión tridimensional y de la posibilidad de crear férulas quirúrgicas Cad/Cam a partir de los datos informatizados.

En 1997, Syliangco (112), publicó un estudio en el que se comparaban dos programas informáticos (“Orthognathic Treatment Planner” y “Prescription Portrait”) y su utilidad en la predicción de resultados a nivel de tejido blando, tras

realizar cirugía de avance mandibular. En ambos programas se obtenían resultados similares en cuanto a la dificultad de predecir el comportamiento del labio inferior. Un importante dato fue el evidenciar que algunas áreas anatómicas no especialmente relevantes para el cirujano, tenían gran importancia para el paciente. De esta manera, concluye su trabajo diciendo que el sistema utilizado permite entender mejor al paciente y disminuir el riesgo de que aparezcan falsas expectativas. Estos programas tampoco permitían el diseño ni la fabricación de férulas quirúrgicas.

También en 1997, Wagner (113), profundizó en el concepto de Realidad Aumentada, como una herramienta útil para visualizar zonas anatómicas de difícil acceso por su topografía. El sistema informatizado que utilizaron, permitía realizar una proyección de puntos, planos y líneas sobre el paciente en quirófano. Su trabajo concluye afirmando la necesidad de realizar más estudios para mejorar la precisión del método.

Motobashi (114), en 1999 es uno de los primeros autores que habla de la importancia de escanear los modelos dentales como complemento a la TC del resto de estructuras faciales para así conseguir mayor precisión en las imágenes 3D de las arcadas dentales. En el presente estudio hemos realizado este procedimiento intentando conseguir la máxima precisión en los detalles de las estructuras dentales en cuanto a forma, tamaño y posición. Es la conocida como técnica del “doble escaneado”.

Mommaerts (115), en su trabajo publicado en 2001 sobre la tecnología Cad aplicada a la planificación de la cirugía craneofacial, concluyó afirmando la utilidad de este método de trabajo por la ventaja que aporta la visualización 3D del esqueleto craneofacial, y la simulación del plan de tratamiento en un ordenador personal.

Soncul (116), en 2004, evaluó el análisis mediante el “Optical Surface Scan”. Este sistema introduce una fuente de láser sobre una cámara que está en una superficie giratoria, dos espejos y un ordenador personal. Este método tiene

algunas ventajas como son: la no irradiación del paciente, ser repetible y tener un bajo coste. Se compararon imágenes pre y postquirúrgicas, realizando una superposición de imágenes faciales, que daba como resultado un mapa coloreado que permitía comparar tejidos blandos entre ambas imágenes. Los resultados evidenciaron unos cambios más acentuados a nivel del mentón y surco labiomentalar, tras una cirugía bimaxilar, y cambios más difíciles de predecir a nivel de las regiones paranasales. Este sistema no capta las estructuras dentales por lo que no es útil para crear férulas quirúrgicas ni simulación de las osteotomías previas a la intervención quirúrgica.

Gateno y Xia, son dos de los autores que más trabajos han publicado hasta el momento en el campo de la tecnología Cad/Cam aplicada a la Cirugía Ortognática para la predicción de resultados y confección de férulas quirúrgicas (78-80,83-85 y 105). Entre sus conclusiones, destaca la que afirma que mediante el programa informático que utilizaron se pueden crear férulas quirúrgicas utilizando la tecnología Cad/Cam. En cuanto a la predicción de resultados postquirúrgicos, recomiendan realizar más estudios con mayor número de pacientes. Hay que subrayar, que estos resultados son los obtenidos a partir de un programa informático concreto, por lo que no se pueden generalizar a todos los programas informáticos del mercado. El escaso número de pacientes en sus series, también hace difícil la extrapolación de los resultados de predicción post intervención, de ahí una de las conclusiones, donde remarcan la importancia de seguir realizando estudios en esta línea de trabajo.

En el trabajo realizado por Hernández-Alfaro (117), y publicado en 2006, sobre la planificación virtual y el diseño de las férulas Cad/Cam en cirugía ortognática, se demuestra la utilidad de este tipo de tecnología y pronostica su uso de forma habitual en un futuro próximo.

En el software utilizado en el presente trabajo, el ordenador procesa los datos obtenidos a partir de las imágenes que nos da la tomografía computerizada del paciente. Permite realizar las osteotomías en la pantalla del ordenador y valorar la oclusión obtenida tras la movilización de las estructuras óseas. Los

datos informatizados son transferidos a un sistema de fabricación Cam, permitiendo modelar, esterolitográficamente, las férulas quirúrgicas que posteriormente utilizaremos en quirófano.

Un reciente trabajo de Metzger (86), publicado en 2008, presenta bastantes similitudes al estudio que hemos realizado y demuestra como combinando la utilización de modelos dentales convencionales y la planificación 3D, se pueden crear férulas quirúrgicas en pacientes con malformaciones dento-esqueléticas. El objetivo principal de Metzger fue presentar un método de trabajo que combinaba una metodología convencional con la tecnología Cad/Cam. Una característica desfavorable de su trabajo es que la muestra (n) se limitó a un solo caso clínico.

No todos los trabajos han tenido unos resultados óptimos y O'Grady (118), a finales de la década de los noventa, concluye su estudio diciendo que existe una sobreestimación en la predicción de resultados utilizando un programa informático diseñado por la Universidad de Glasgow. Esta sobreestimación se da con más frecuencia a nivel del tercio inferior facial y es más evidente en la región labial.

En este punto hemos remarcado estudios que han aportado cambios importantes en la metodología de trabajo. Uno de estos cambios más importantes se está produciendo con la aplicación de la tecnología Cad/Cam a la planificación en cirugía ortognática, lo cual, por ser el eje central del presente trabajo, comentaremos extensamente en sucesivos apartados.

4. HIPÓTESIS

- Hipótesis 1:

H₁: este sistema informatizado aporta unos beneficios intrínsecos a la rutina diaria del clínico como son: fácil y rápida recuperación de datos, ahorro de espacio, repetibilidad de la planificación y uso de redes informáticas que permiten el envío de la planificación a otro centro de forma rápida y sencilla.

H₀: el método de planificación 3D y confección de férulas quirúrgicas Cad/Cam no aporta beneficios intrínsecos respecto a la técnica de planificación convencional.

- Hipótesis 2:

H₂: la predicción de resultados 3D a partir del programa informático estudiado es un método fiable de predicción a nivel de los tejidos duros y blandos en cirugía ortognática.

H₀: existe una falta de precisión del programa informático para predecir los resultados sobre tejido duro y blando.

- Hipótesis 3:

H₃: se considera la férula creada a partir de la tecnología Cad/Cam como un instrumento preciso para trasladar a quirófano nuestro plan de tratamiento.

H₀: las férulas Cad/Cam no son un instrumento preciso para trasladar a quirófano nuestra planificación.

5. MATERIAL Y MÉTODO

5.1. Selección de pacientes

Se han incluido en el estudio 16 pacientes (n=16) consecutivos, que acudieron al Instituto de Cirugía Maxilofacial e Implantología de la Clínica Teknon (Barcelona) y que cumplían los siguientes criterios de inclusión:

- Paciente con deformidad dentofacial, candidato a tratamiento ortodóncico-quirúrgico para su corrección.
- Consentimiento Informado, correctamente cumplimentado.
- Ser pacientes intervenidos en el Instituto de Cirugía Maxilofacial de la Clínica Teknon de Barcelona, por el mismo cirujano (Dr. Federico Hernández-Alfaro).

La Comisión Científica del departamento de Odontología de la Universitat Internacional de Catalunya certificó (la documentación se adjunta en el anexo al presente trabajo) que el estudio cumplía los siguientes requisitos:

- Aprobación por parte del Comité de Ética del Departamento de Odontología.
- Aprobación del protocolo, conforme los materiales y métodos se adecúan a los objetivos previstos.

Y autorizó la realización del estudio en el Instituto de Cirugía Maxilofacial de la Clínica Teknon de Barcelona como también certificamos en el documento adjunto situado en el anexo del presente trabajo.

5.2. Estudio preoperatorio y seguimiento postoperatorio

En todos los casos se realizó de manera rutinaria:

- Evaluación general del paciente
 - Historia Clínica
 - Evaluación dental
 - a. Historia clínica
 - b. Evaluación general
 - c. Consideraciones periodontales
 - d. Estudio de la oclusión
- Evaluación estética
 - a. Análisis de frente
 - b. Análisis de perfil
- Evaluación sociopsicológica
- Evaluación radiográfica
 - Evaluación cefalométrica lateral
 - Evaluación cefalométrica posteroanterior
 - Ortopantomografía
 - Tomografía Computerizada craneofacial (*General Electric HiSpeed CTE single slice*) o escáner Cone Beam de baja radiación (*IS I- CAT 17- 19*).

Estas pruebas se realizan con una cera de mordida, que asegura la oclusión y la relación céntrica durante el estudio radiográfico.

- Evaluación de la articulación temporomandibular.

Para llegar a un adecuado plan de tratamiento en pacientes con malformaciones dentofaciales, es necesario un examen sistemático y protocolizado, concepto sugerido por múltiples autores como Epker (1), Proffit (2-3) y Bell (65), entre otros. Este examen, como ya hemos expuesto anteriormente, requiere de una coordinación entre ortodoncista y cirujano, realizando cada fase del tratamiento en el momento idóneo para obtener un óptimo resultado final. Desde que el paciente acude por primera vez a nuestra consulta hasta que finaliza el tratamiento, sigue una secuencia que podríamos dividir en tres partes:

- a) Fase ortodóncica prequirúrgica: es un periodo de tiempo, variable según cada caso, en que se trata al paciente ortodóncicamente para, posteriormente, realizar la intervención quirúrgica. Woldford (119), en 1985, describió un STO (Surgical Treatment Objectives) inicial, en el cual se determinan los objetivos del tratamiento ortodóncico y quirúrgico antes de empezar a tratar al paciente. En esta fase, se realiza una toma de registros por parte del ortodoncista mediante una exploración física, toma de modelos dentales, estudio fotográfico facial y oclusal, y un estudio cefalométrico a partir de una telerradiografía de perfil. Gracias a esta fase se consigue una descompensación de la maloclusión, alineando y nivelando la arcada dental, de tal manera que podamos llegar a una correcta oclusión durante la intervención quirúrgica, una vez realizadas las osteotomías. También en este momento se realizan las extracciones dentales que se requieran, si fuera necesario.
- b) Fase quirúrgica: el STO, u Objetivos Finales del Tratamiento Quirúrgico, se realiza cuando ha finalizado el tratamiento ortodóncico prequirúrgico. Woldford (128), definió esta fase como

aquella en la que se determinan los cambios esqueléticos y de tejidos blandos en el eje vertical y anteroposterior que queremos conseguir durante la cirugía. Se realiza un examen físico, fotografías faciales y oclusales, así como una cefalometría lateral de cráneo, inmediatamente antes de la cirugía, para realizar un estudio cefalométrico. Se toman los modelos dentales del paciente y se montan en el articulador semiasjustable SAM 2 (Great Lakes Orthodontic Products, Ltd. Tonowanda, NY). En el articulador simulamos los movimientos que realizaremos en quirófano tras las osteotomías y se confeccionan las férulas quirúrgicas de material acrílico que van a trasladar a quirófano el plan de tratamiento.

- c) Fase ortodónica postquirúrgica: la realizamos en un primer momento postoperatorio mediante gomas de tracción ortodónica (GAC International. Medimark[®] Europe, Grenoble), de 6mm y, posteriormente, el ortodoncista puede llevar a cabo pequeños movimientos para llegar a una perfecta oclusión si así lo precisara el paciente.

Mediante estas fases se realiza la planificación preoperatoria y la fabricación de férulas quirúrgicas de forma convencional. En nuestro estudio hemos obtenido también férulas Cad/Cam. Para entender como hemos obtenido las férulas Cad/Cam primero expondremos la metodología utilizada para la fabricación de férulas quirúrgicas convencionales.

5.2.1. Fabricación de Férulas quirúrgicas convencionales:

- I. Toma de modelos de las arcadas dentales del paciente
- II. Toma del arco facial (Artex, AmannGirrbach, Germany). Este arco facial se posiciona mediante dos olivas en el Conducto Auditivo Externo del paciente, bilateralmente, y se estabiliza en el punto Nasion (unión entre el hueso frontal y los huesos propios nasales). Tomamos como referencia el Plano de Frankfurt, y colocando una cera de mordida en la parte inferior de este arco facial, las impresas dentales de las superficies oclusales de los primeros molares superiores e incisivos superiores quedarán registradas.
- III. Transferencia al articulador semiajustable SAM-2 (Great Lakes Orthodontic Products, Ltd. Tonowanda, NY) de los modelos dentales del paciente utilizando una tabla de transferencias (AmannGirrbach, Germany). Este procedimiento nos permite tener en 3D la oclusión del paciente. El ángulo entre el plano oclusal del modelo maxilar, y la parte superior del articulador, debe ser el mismo que el originado por el plano oclusal en el cefalograma respecto al plano de Frankfurt siguiendo las indicaciones que propugnaban en sus trabajos Erickson (81), Donatsky (108) y Anwar (120).
- IV. Cirugía de modelos: se realiza la movilización de las arcadas dentales según el plan de tratamiento, consiguiendo una correcta oclusión de los modelos en el articulador. En los casos en los que realizamos una cirugía bimaxilar, movilizamos primero la arcada superior, y una vez situada en la posición deseada, se realizó la férula quirúrgica intermedia de metilmetacrilato tomando como referencia la arcada dental inferior. Esta férula intermedia tiene las impresiones dentales de la cara oclusal de la arcada dental superior

y de la arcada dental inferior. Posteriormente, se traslada la arcada dental inferior a la posición idónea para conseguir una correcta oclusión, y se fabrica la férula quirúrgica final que nos dará una correcta oclusión.

En los casos de cirugía bimaxilar se fabricaron, como hemos dicho, dos férulas quirúrgicas:

- Férula intermedia: que nos dará la relación entre ambas arcadas dentarias, una vez se haya hecho la osteotomía maxilar. La posición de la arcada inferior con la férula intermedia, hace por tanto de guía para el posicionamiento del maxilar superior, pues aún no se ha hecho la osteotomía mandibular.
- Férula final: es la que nos va a llevar a conseguir una oclusión tipo I tras la osteotomía mandibular, y después de haber realizado la osteosíntesis maxilar y su estabilización mediante miniplacas de titanio y tornillos de osteosíntesis.

5.2.2. Fabricación de férulas quirúrgicas Cad/Cam

- I. Tomografía Computerizada o Tomografía Cone Beam craneofacial del paciente en formato Dicom (Digital Imaging and Communication in Medicine).
- II. Toma de modelos de las arcadas dentales.
- III. Se envían a la factoría de Materialise[®] (Lovaina, Bélgica), los modelos a través de correo convencional, y las imágenes Dicom a través de internet. Los modelos enviados se escanean en Materialise[®] para reproducir imágenes 3D de los mismos, que, superpuestos a las imágenes 3D del paciente, corregirán la pérdida de información de las estructuras dentales, intrínseca a la Tomografía Cone Beam o Tomografía Computerizada convencional.
- IV. A través de internet nos envían desde Bélgica las imágenes 3D de tejido duro y blando del paciente. Los datos transferidos a través de Internet se descargaron en una carpeta “ftp” con servidor propio de la empresa Materialise[®], de forma rápida y sencilla en pocos minutos.
- V. Mediante el software instalado en nuestro ordenador personal (Sony Vaio VGN-FE21M), llevamos a cabo las osteotomías programadas según nuestro plan de tratamiento, y analizamos la predicción de resultados a nivel del tejido duro y blando, según unas mediciones que expondremos en posteriores apartados. El esqueleto craneofacial 3D con el que trabajamos, es alineado, siguiendo unos planos que actúan como ejes de coordenadas, para situar siempre las imágenes 3D de nuestros pacientes en la misma posición natural de la cabeza.

Estos planos son:

- El Plano Sagital Medio: se utilizó para la orientación vertical.
- El Plano de Frankfurt: para la orientación transversal.

Llevamos a cabo las osteotomías necesarias en cada caso, para corregir la deformidad dentoescelética según el plan de tratamiento original. Posteriormente, colocamos cada estructura osteotomizada en la nueva posición. Las imágenes tridimensionales de los modelos dentales, superpuestas a las imágenes de la arcada dental del paciente, dan mayor precisión a la forma y tamaño de los dientes, hecho que es de gran ayuda en el momento de valorar la correcta oclusión en la pantalla de nuestro ordenador personal.

- VI. Enviamos a través de internet nuestra planificación tridimensional a Materialise, y en el plazo de 6 días laborables obtenemos nuestras férulas quirúrgicas mediante correo convencional.

Las imágenes siguientes muestran las Férulas Cad/Cam (Fig. 5.2.2.1 y 5.2.2.2.)

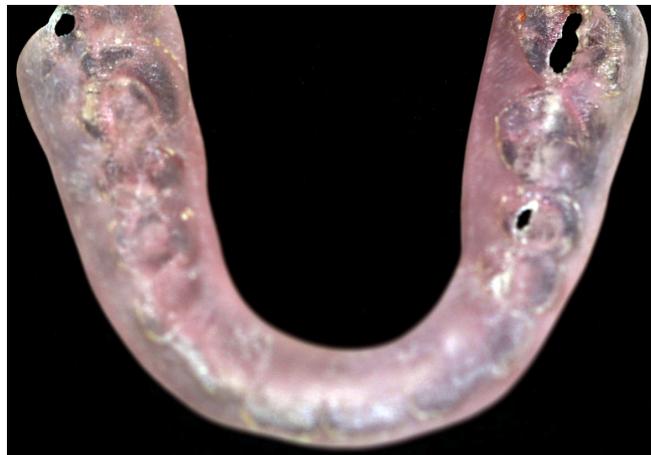


Fig.ura 5.2.2.1.Férula Quirúrgica Final Cad/Cam



Figura 5.2.2.2. Férula Quirúrgica Intermedia Cad/Cam

El paciente vuelve a acudir a nuestra consulta, para explicarle, de forma clara y entendible, el plan de tratamiento y los objetivos que deseamos alcanzar. Asimismo se le informa sobre los riesgos de la cirugía y los detalles del postoperatorio. Por último se rellena el Consentimiento Informado, por parte del paciente y del cirujano.

El día de la intervención quirúrgica el paciente ingresa en ayunas de 6h. Todas las intervenciones se realizaron bajo anestesia general. La duración de la operación varió entre los 75 y los 120 minutos, llevándose a cabo en todos los pacientes por el mismo cirujano (Dr. Hernández-Alfaro). Una hora antes de la intervención quirúrgica se administra al paciente por vía endovenosa un gramo de Amoxicilina con 125 mg de Ácido Clavulámico y un gramo de metilprednisolona, como profilaxis antibiótica y antiinflamatoria.

Tras la intervención quirúrgica, los pacientes ingresaron en Planta de Hospitalización hasta dar el alta 24h después, una vez comprobada la correcta evolución en el postoperatorio. Durante su estancia en la Clínica Teknon, se les suministró tratamiento antiinflamatorio, corticoideo y antibiótico así como unas concisas medidas higiénico-dietéticas, según el protocolo habitual establecido por el Instituto de Cirugía Maxilofacial e Implantología.

Se facilitó al paciente un protocolo de recomendaciones medicamentosas a seguir en su domicilio, así como un plan de nutrición postoperatoria (véase la sección “anexo”) con las cantidades adecuadas energéticas y de nutrientes esenciales, para prevenir un déficit nutricional posterior.

5.3. Técnica quirúrgica

En este apartado nos centraremos exclusivamente en la exposición de las técnicas quirúrgicas utilizadas en nuestros 16 pacientes.

5.3.1. Hueso maxilar

5.3.1.1. Le Fort I (Esquema 5.3.1)

El abordaje quirúrgico se realiza a partir de una incisión entre los caninos superiores y 5mm aproximadamente por encima de la mucosa no queratinizada, por la cara vestibular del maxilar superior. A continuación, se lleva a cabo la disección subperióstica:

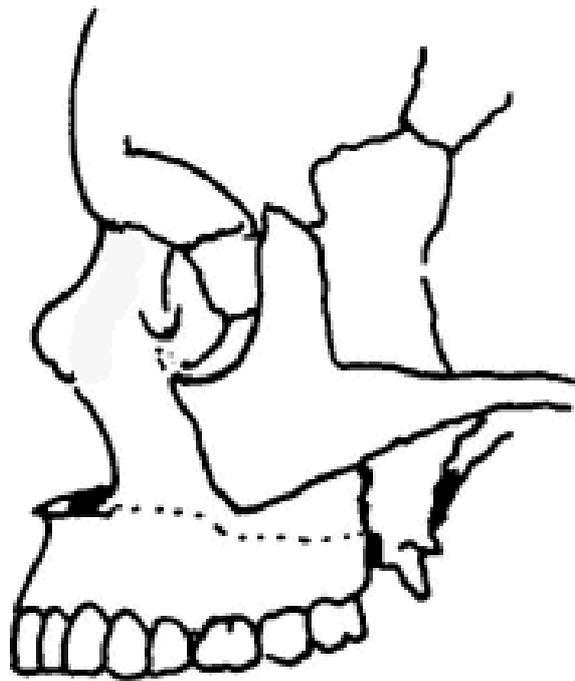
- El levantamiento del colgado mucoperióstico debe ser preciso y cuidadoso, continuándolo hasta la tuberosidad maxilar, lo que nos permite colocar subperiosticamente el retractor pterigoideo.

- Identificamos el borde del arbotante piriforme y levantamos cuidadosamente el periostio nasal del reborde nasal, el suelo nasal y las paredes laterales nasales. (Esquema 5.3.2)

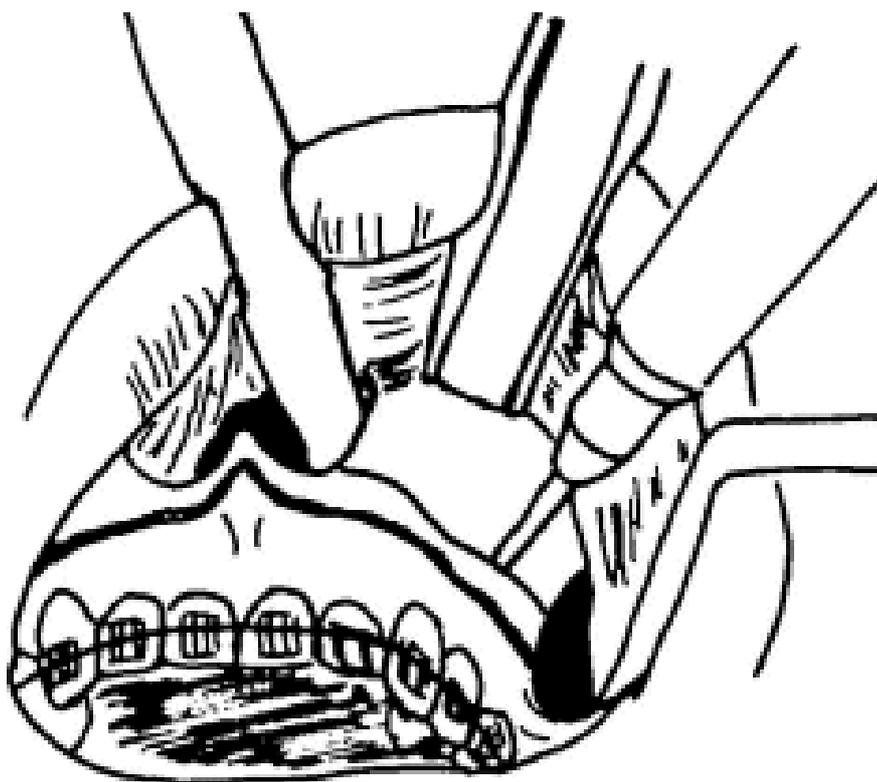
Una vez expuesto el maxilar superior llevamos a cabo la osteotomía mediante una sierra recíproca (Osteopower Modular Handpiece System, Osteoplac), desde la tuberosidad maxilar hasta el reborde piriforme, y al menos 5mm por encima del ápice del canino. Dicha osteotomía se realiza a lo largo de toda la pared lateral del maxilar superior. En este punto de la intervención el Dr. Hernández-Alfaro realiza la disyunción pterigomaxilar (Esquema 5.3.3), técnica personal, que consiste en la separación de la tuberosidad maxilar de la apófisis pterigoides del hueso esfenoides, mediante un escoplo plano ancho. A continuación, realizamos la osteotomía de las paredes laterales nasales mediante un osteotomo posicionado en el reborde piriforme. El siguiente paso, es la realización de la condrotomía del cartílago septal y la osteotomía del hueso

vómer, usando un osteotomo específico para ello y posicionándolo hacia el suelo nasal para evitar perforar la mucosa nasal.

El último paso para completar la osteotomía de Le Fort I, es la llamada “Down Fracture” que realizaremos ejerciendo una presión de craneal a caudal sobre el maxilar superior fracturado. Si todas las osteotomías realizadas se han llevado a cabo de forma adecuada, esta maniobra debería realizarse sin necesidad de ejercer una excesiva presión. Si notamos que esta maniobra no se puede llevar a cabo tras una moderada presión sobre el maxilar superior es necesario revisar las osteotomías realizadas previamente pues una excesiva presión puede provocar un compromiso vascular, una movilización de las fijaciones ortodóncicas e incluso de las piezas dentales, o una fractura desfavorable.



Esquema 5.3.1. Línea de fractura en el LeFort I



Esquema 5.3.2.: Desperiostización de la mucosa nasal y osteotomía con sierra reciprocante



Esquema 5.3.3.: Disyunción pterigomaxilar

Una vez colocado el hueso maxilar en su nueva posición, se procede a la estabilización de la osteotomía mediante tornillos de osteosíntesis de 2 mm de diámetro por 5 mm de longitud y miniplacas de 1.2 o 1.6 de grosor (Osteoplac[®]).

5.3.1.2. Osteotomía segmentaria del maxilar

Se realiza una osteotomía de LeFort I, y una vez liberado el fragmento del maxilar superior mediante la “down fracture” se realiza una osteotomía de craneal a caudal entre las piezas 12-13, y entre las piezas 22-23, en los casos en los que se planificó una segmentación, unos 5mm por encima de los ápices dentarios mediante un bisturí de ultrasonidos (Piezo Surgery, Mectron[®]). Se traza la osteotomía sin completarla, protegiendo la mucosa palatina con el dedo índice desde el techo del paladar, posteriormente se completa la osteotomía mediante un osteotomo. Fino de 5 mm.

De esta manera, obtenemos tres porciones del maxilar superior que pueden moverse en los tres planos del espacio. Durante esta técnica cobra especial importancia la realización de una desperiostización y el manejo cuidadoso de los tejidos blandos, debido al riesgo de necrosis avascular que conlleva el fragmentar el hueso maxilar en tres partes.

Tanto en la osteotomía de Le Fort I, como en la osteotomía segmentaria, una vez llevada a cabo la “Down Fracture” se puede remodelar según las necesidades, toda la región del maxilar superior que comprende el suelo nasal y las zonas óseas alrededor de los senos maxilares.

5.3.2. Mandíbula

El abordaje quirúrgico se realiza a partir de una incisión que sigue la línea oblicua externa desde la mitad de la rama mandibular hasta el segundo molar inferior dejando al menos 5mm de mucosa libre no queratinizada, para una sencilla sutura y cierre de la incisión. Se realiza una disección subperióstica en la cara bucal y lingual. Visualizamos la línula y la entrada del nervio dentario, a través del foramen situado en la cara interna de la rama mandibular (Esquema 5.3.4). Este paso es de gran importancia para evitar la lesión del nervio dentario durante la osteotomía horizontal de rama.

La osteotomía horizontal de la rama mandibular se inicia por la región anterointerna, 5 mm por encima de la línula (Esquema 5.3.5), tomando una dirección paralela al plano oclusal y alargando dicha osteotomía hasta 3-4mm posterior a la línula. La osteotomía horizontal se continúa centralmente con una osteotomía que llega hasta la región mesial del segundo molar, unos 5 mm aproximadamente por debajo de la cresta mandibular por su cara vestibular. Por tanto, la osteotomía sigue una dirección de lingual, en su región superior, a vestibular en su región bucal. La osteotomía del cuerpo mandibular por la cara bucal (Esquema 5.3.5), se realiza desde el extremo más caudal de la osteotomía, realizada a nivel del segundo molar hasta el borde inferior del cuerpo mandibular, y debe incluir la cortical del cuerpo mandibular, llegando hasta su borde más inferior siguiendo la modificación propuesta por Epker (23).

El primer paso en esta maniobra es “dibujar” la línea de osteotomía, una vez expuesto el hueso, mediante una sierra recíprocante (Osteopower Modular Handpiece System[®]), de tal forma que se realice dicho corte sobre la cortical mandibular (corticotomía). Posteriormente, mediante escoplos de 10mm, se procede a completar la osteotomía.

Mediante dos escoplos, y una vez seguros de haber completado la osteotomía, realizamos movimientos de rotación combinados, en la región proximal y distal de la línea de fractura, consiguiendo la fractura sagital

mandibular. La estabilización se consigue fijando los dos fragmentos óseos con una miniplaca de titanio y tornillos (Esquema 5.3.6), a un lado y otro de la mandíbula (miniplacas de 2.0, Osteoplac[®]).

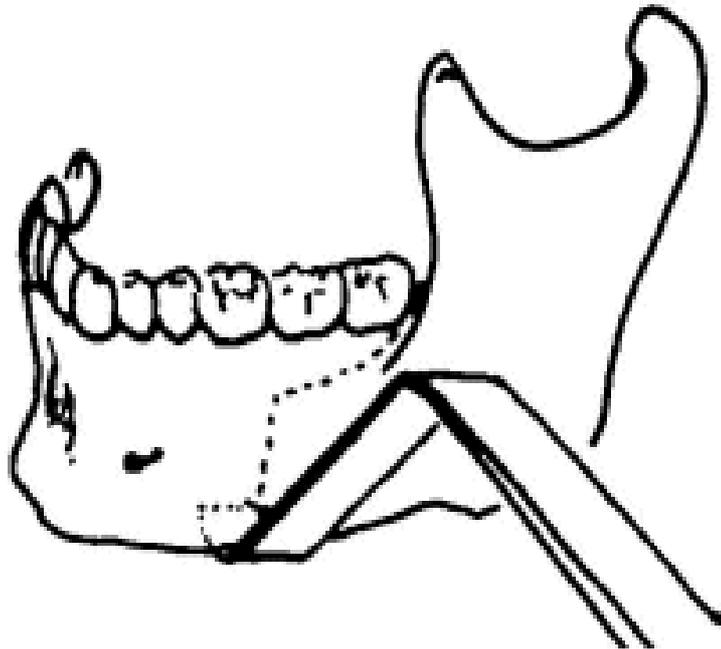
Cualquier resistencia en esta maniobra requiere volver a comprobar la osteotomía. Una osteotomía mal realizada comporta un alto riesgo de fractura patológica.



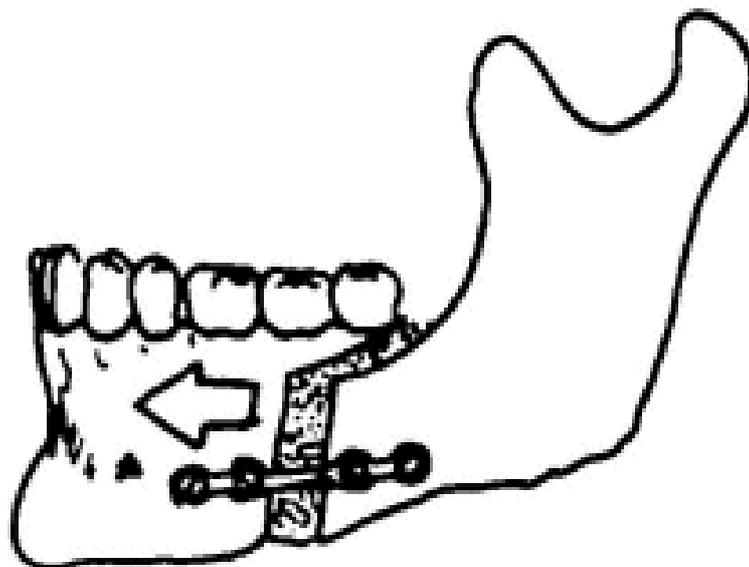
Esquema 5.3.4.: Detalle de la maniobra para proteger el nervio dentario inferior por encima de su entrada en la rama mandibular por su cara interna



Esquema 5.3.5.: Osteotomía de rama mandibular.



Esquema 5.3.6.: Osteotomía del cuerpo mandibular por la cara vestibular.



Esquema 5.3.7.: Osteosíntesis mandibular mediante fijación rígida utilizando miniplacas de titanio y tornillos.

5.4. Seguimiento del paciente y recogida de datos

Se sigue un protocolo preestablecido en todos los pacientes:

- 4 visitas consecutivas, las 4 primeras semanas post IQ
- Visita a los 3 meses y petición de nuevo Cone Beam CT
- Visita de control a los 6 meses y alta.

Realizar el Cone Beam CT tres meses postintervención, nos da unas imágenes más objetivas del resultado obtenido, pues ya han remitido los fenómenos inflamatorios derivados de la cirugía. Es también un periodo de tiempo lo suficientemente “cercano” a la IQ como para que una posible recidiva desvirtúe la comparación entre las imágenes previas y posteriores a la cirugía.

Los datos considerados útiles para su posterior análisis y elaboración de conclusiones, han sido obtenidos de diferentes partes del estudio:

- Comparación de las férulas quirúrgicas: comparación de las férulas creadas a partir del método convencional y las creadas a partir de la tecnología Cad/Cam. Para ello hemos realizado una evaluación en quirófano, registrando los Niveles de Concordancia entre la férula Cad/Cam y la férula convencional.

Los Niveles de Concordancia medidos intraoperatoriamente se registraron tomando referencias intraorales:

- . Agujeros infraorbitarios
- . Distancias verticales perpendiculares a las osteotomías desde los agujeros infraorbitarios

Y referencias extraorales:

- . Cantos internos de los párpados

Consideramos tres Niveles de Concordancia:

- Alto: cuando existe una concordancia en los tres planos del espacio con un error $< 1\text{mm}$ entre las dos férulas comparadas, respecto al plan de tratamiento.
 - Medio: diferencias en dos planos del espacio $< 1\text{mm}$ y en uno de los planos se objetiva una diferencia $> 1\text{mm}$.
 - Bajo: no coincidencia (error $> 1\text{mm}$) en dos o en los tres planos del espacio.
- Datos obtenidos del estudio prequirúrgico y postquirúrgico en 3D. Para ello se solicitaron dos CT Cone Beam en formato Dicom, uno preoperatorio a partir del cual se crearán las imágenes 3D, con las que haremos la predicción de resultados, y otro postquirúrgico, que nos servirá para comparar en 3D los resultados predichos frente a los obtenidos.

Definimos las diferentes mediciones que hemos recogido en las imágenes 3D, tanto a nivel de tejido óseo como de tejido blando. Al final de esta lista se pueden visualizar en imágenes 3D los diferentes puntos descritos (Fig.5.4.1-8).

- Altura Facial: medida en milímetros desde el punto Nasion o Ns (unión del hueso frontal con los huesos propios nasales en la línea media facial) hasta el punto Mentón (Me: situado en la región más caudal de la sínfisis mentoniana).

- Ángulo Facial: nos lo da el Plano de Frankfurt (formado por los dos puntos Orbitales en el límite inferior de las órbitas y un punto medio entre los dos Porion o puntos situados en la parte superior del Conducto Auditivo Externo), y el plano creado a partir del punto Nasion y dos puntos situados a 1 mm a un lado y otro del punto Pogonion (Pg: punto más anterior a nivel de Sínfisis Mandibular).
- Ángulo Nasolabial: formado por el punto Labrale superior (Ls: situado en el límite superior del bermellón labial) en su línea media, el punto subnasale (Sn: unión de la columela nasal con el límite superior del *filtrum* labial en su línea media) y el punto situado en la parte más anterior e inferior de la nariz en su línea media.
- Ángulo formado por el Plano de Frankfurt y el Plano Mandibular (formado por los puntos Gonion o ángulo mandibular y el punto Mentón situado en la parte más inferior de la sínfisis mentoniana).
- Ángulo entre el Plano de Frankfurt y el Plano Oclusal (formado por los puntos que representan el punto de contacto entre las cúspides mesiales de los primeros molares y el punto medio de oclusión interincisal).
- Ángulo formado por el Plano Oclusal y el Plano Mandibular.
- Ángulo entre los puntos Ns, Basion (Bs: punto más anterior del Foramen Occipital) y punto A (situado en el punto de máxima concavidad de la parte anterior del maxilar superior en su línea media).
- Ángulo entre el punto Ns' (proyección del punto Ns sobre el tejido blando), el punto Bs, y el punto A' (proyección de A sobre el tejido blando).
- Ángulo entre el punto Ns, Bs y Me.

- Distancia en mm entre el punto Bs y el punto Me.
- Ángulo entre Ns' , Bs y Me' (proyección de Me sobre el tejido blando mentoniano).
- Distancia entre el punto Basion y Me' .
- Distancia interalar nasal (distancia en milímetros entre ambas alas nasales en su punto más convexo).
- Ángulo formado por un punto en el ala nasal derecha, la punta nasal y el ala nasal izquierda.

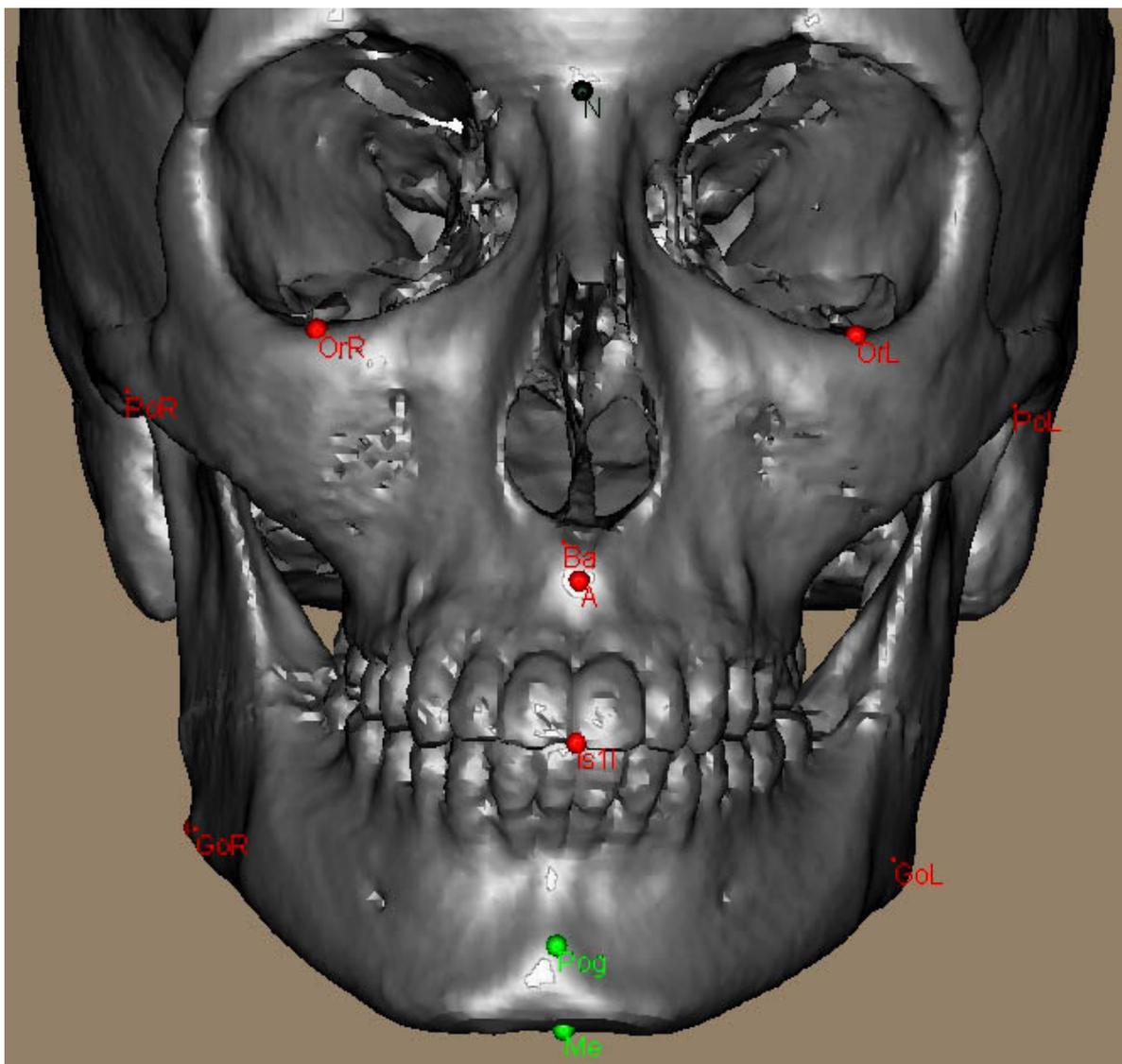


Figura 5.4.1.: Visión frontal 3D con puntos de referencia

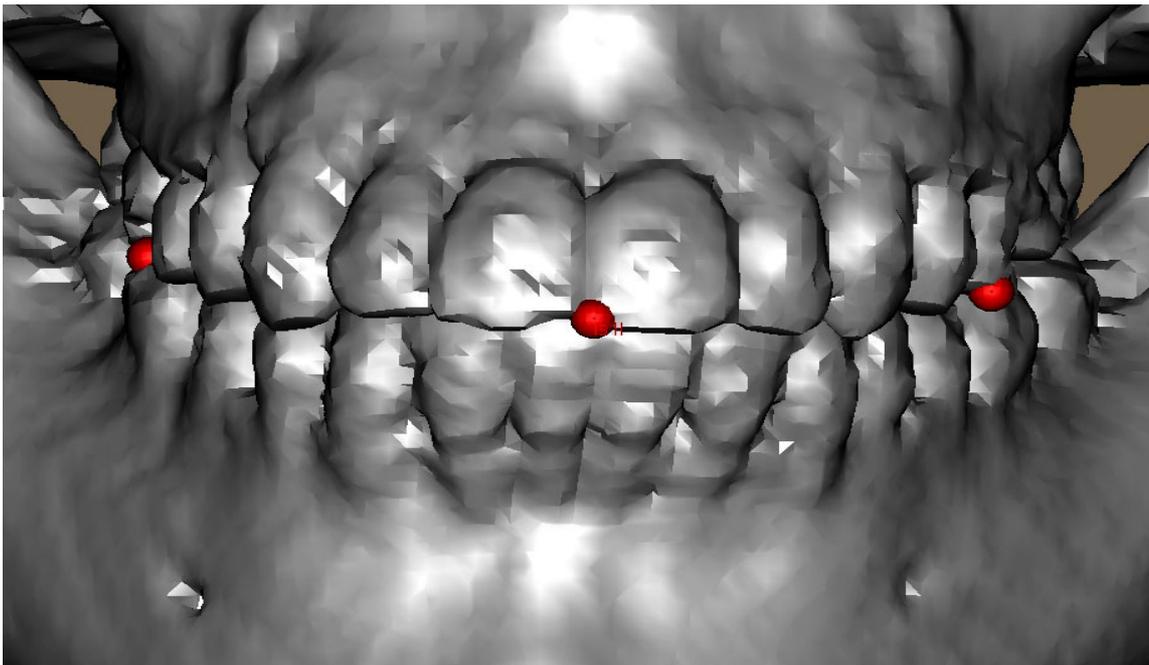


Figura 5.4.2.: Visión frontal 3D de las arcadas dentales con puntos de referencia en primeros molares e incisivos.

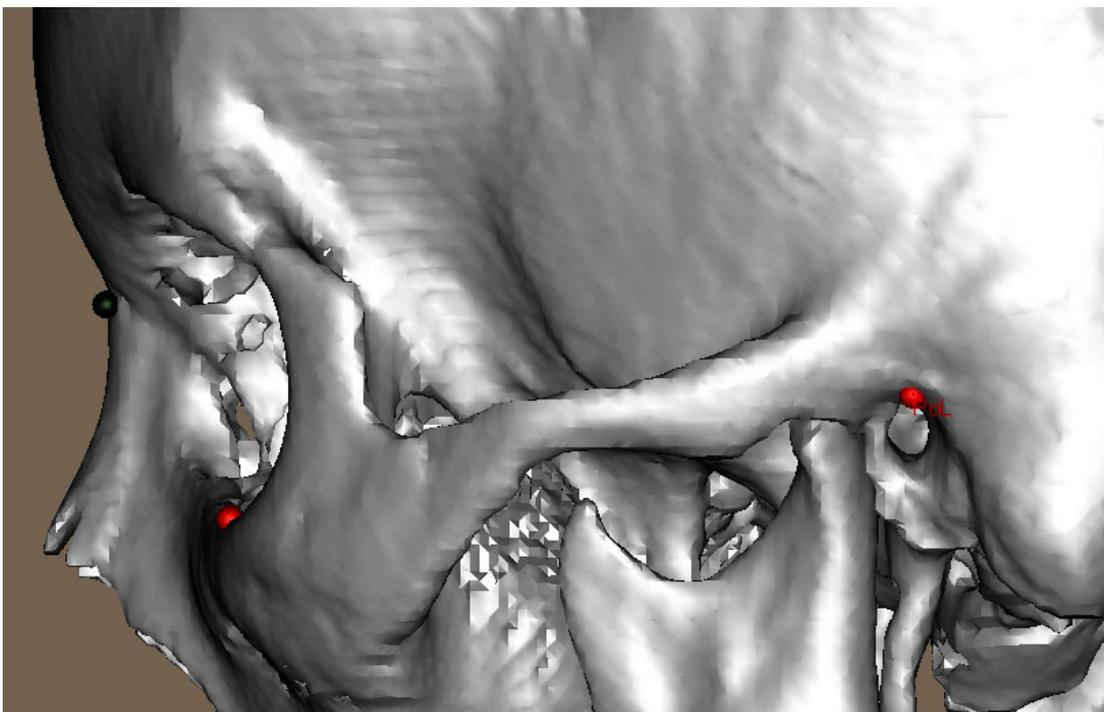


Figura 5.4.3.: Visión lateral 3D del tercio superior del esqueleto facial marcando el punto orbitale y porion como referencia.

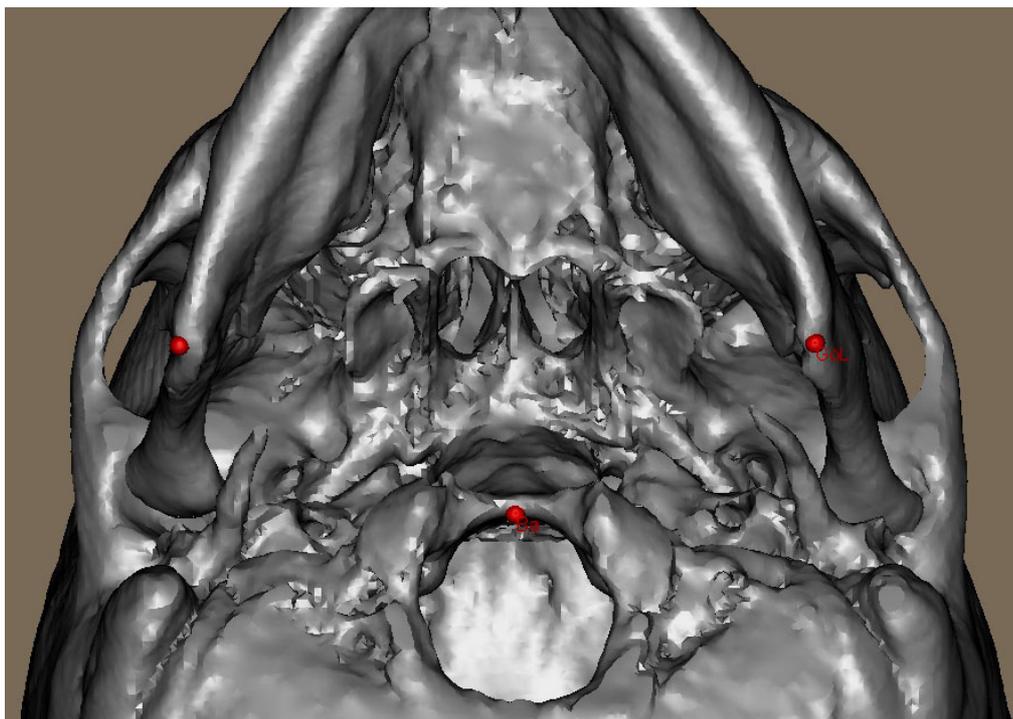


Figura 5.4.4.: Base del cráneo con puntos *gonion* y *basion*.

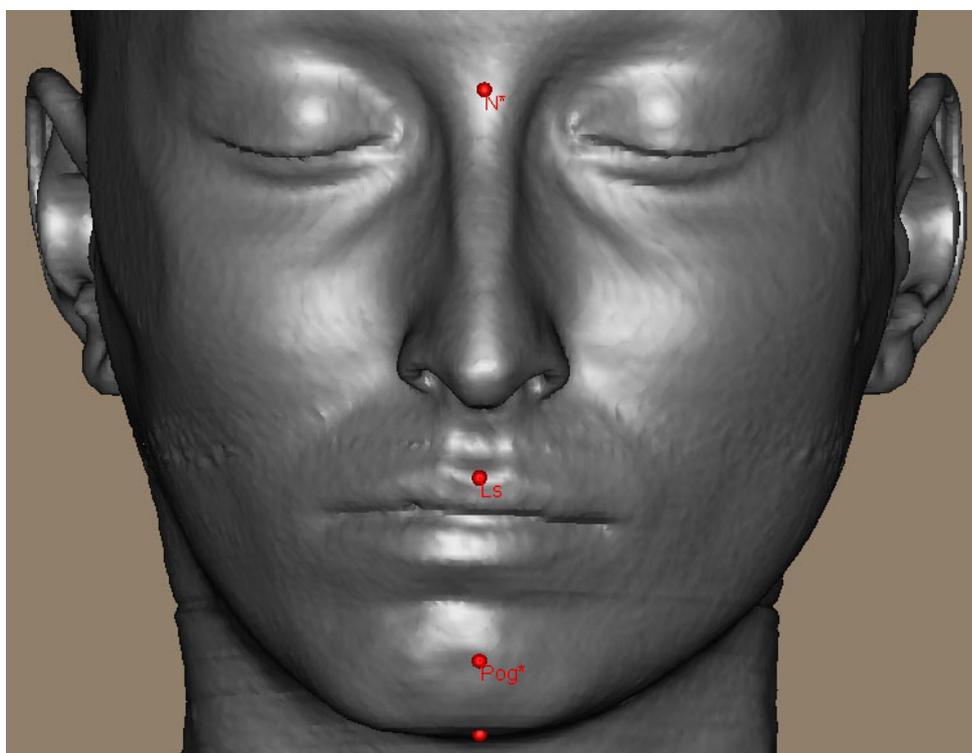


Figura 5.4.5.: Visión frontal en 3D con el tejido blando donde se aprecia la gran asimetría a nivel del tercio inferior facial.

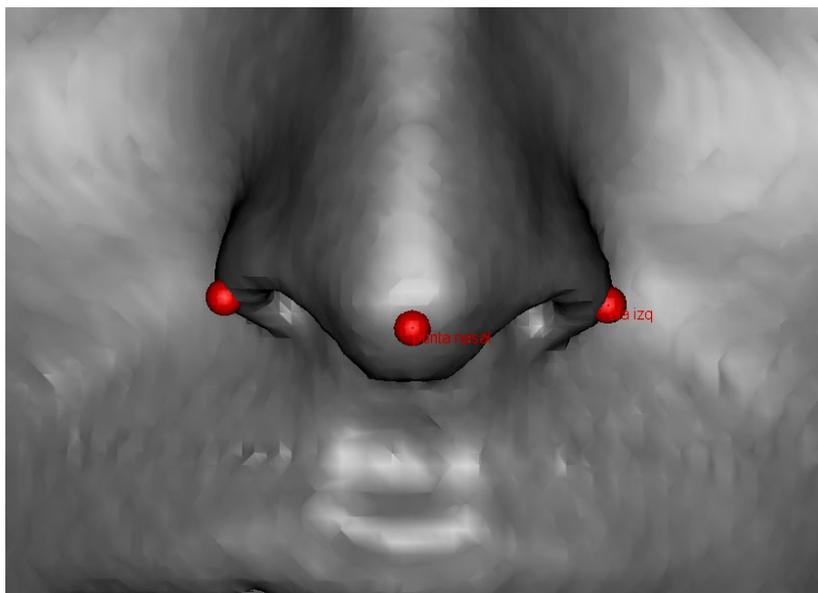


Figura 5.4.6.: Detalle del estudio de la punta facial con dos referencias en la región alar y una en la punta nasal.

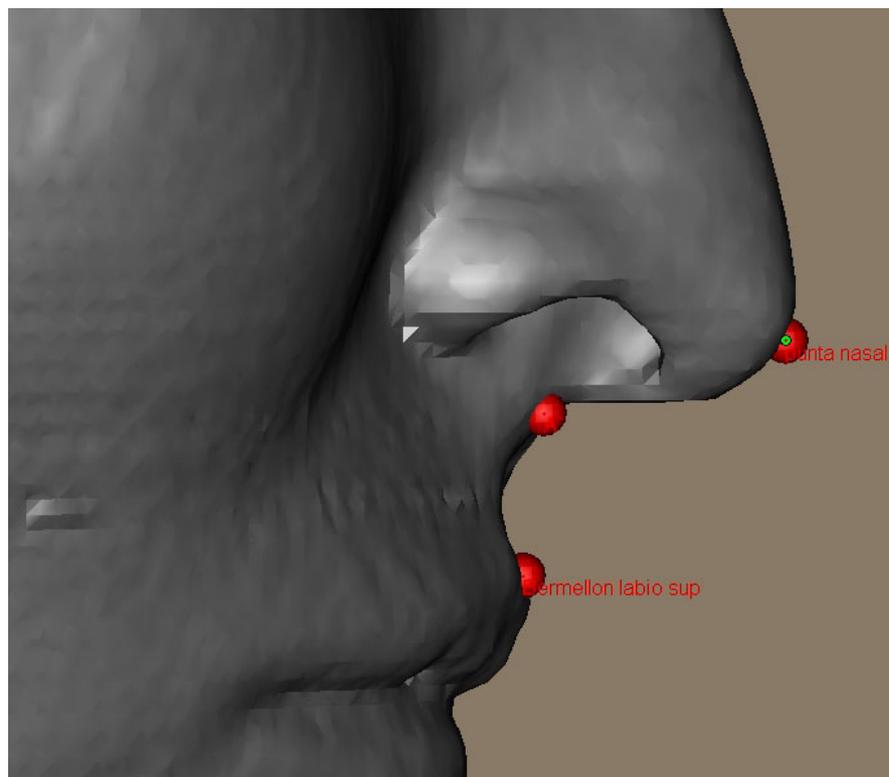


Figura 5.4.7.: Detalle del estudio del ángulo nasolabial con *bermellon*, *subnasale* y *punta nasal* como referencias.

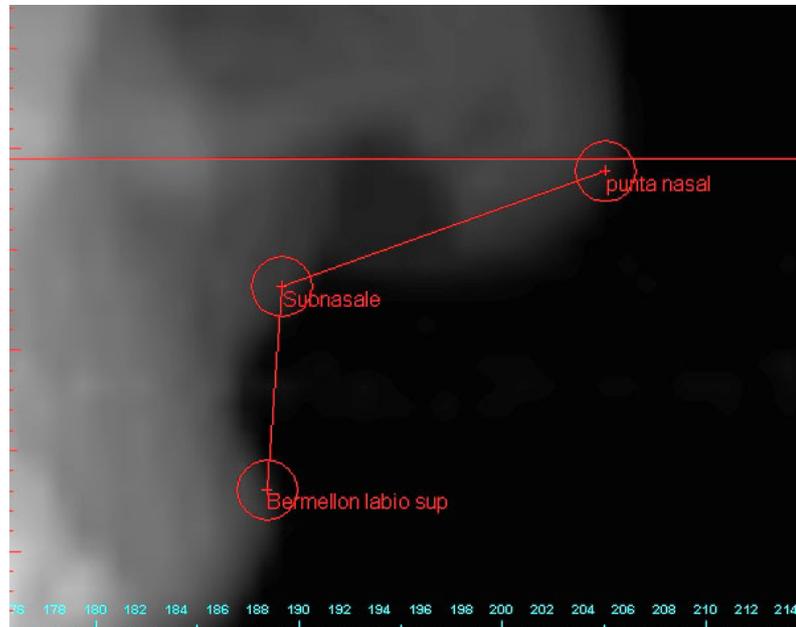


Figura 5.4.8.: Estudio del ángulo nasolabial en la reconstrucción 2D de perfil que nos ofrece el programa informático

Se recogen los resultados de nuestras mediciones en todos los pacientes en la predicción, y se vuelven a recoger en las imágenes 3D postoperatorias, tres meses después de la intervención quirúrgica.

5.5. Estudio estadístico

Realizamos el estudio sobre una muestra de 16 pacientes (n=16). En los estudios que tratan de evaluar la validez de una medida, se comparan sus resultados con los obtenidos mediante una prueba de referencia (*gold standard*) que se considera válida y fiable para la medición del fenómeno de interés. En nuestro estudio este *gold estándar* han sido las férulas quirúrgicas convencionales y las imágenes 3D postoperatorias. Hemos utilizado un Análisis de Concordancia para variables numéricas para la comparación entre férulas y para la comparación entre resultados predichos y resultados reales postoperatorios.

Para la comparación entre una metodología y otra en cuanto a ventajas y desventajas que aporta el nuevo método, utilizamos como *gold estándar* la planificación convencional y realizamos un Análisis descriptivo objetivando las ventajas que aporta la tecnología Cad/Cam.

A continuación exponemos el estudio estadístico utilizado en cada uno de los tres parámetros analizados y justificamos la elección de dicho estudio estadístico.

5.5.1. Análisis de la predicción de resultados

Comparamos las imágenes 3D de nuestra predicción preoperatoria con las imágenes 3D postquirúrgicas (*gold estándar*). Este análisis nos permite obtener el grado de precisión en nuestras predicciones. Para ello utilizamos un Análisis de Concordancia para variables numéricas. Estamos tratando con variables cuantitativas por lo que la concordancia la medimos utilizando el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC), evitando así utilizar el Coeficiente de Correlación de forma incorrecta ya que podemos obtener una correlación “r” alta y sin embargo una concordancia baja en los estudios en los que se valoran dos variables cuantitativas. El concepto básico subyacente del coeficiente de correlación intraclase fue introducido originalmente como una formulación especial de la r de Pearson, basándose en un modelo de análisis de la varianza. Hemos obtenido los valores utilizando el programa informático SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

Existen dos tipos de ICC: el de Concordancia (ICCC), y el de Acuerdo (ICCa). Utilizamos el ICCa que también tiene en cuenta la presencia de sesgos constantes en las medidas.

Los valores obtenidos con el ICC varían entre 0 (ausencia de concordancia), y 1 (concordancia absoluta). La interpretación de estos valores es hasta cierto punto arbitraria, si bien existe consenso en función del resultado como se expone en el trabajo de Bartko (121):

- Concordancia baja: si $ICC < 0,4$
- Concordancia regular/buena: si ICC entre 0,40 y 0,75
- Concordancia muy buena: si $ICC > 0,75$

Consideramos un valor como estadísticamente significativo cuando $p < 0,005$

5.5.2. Comparación entre férulas quirúrgicas

En quirófano se valoran ambas férulas quirúrgicas y se estudia la posición del complejo maxilo-mandibular obtenida, utilizando la férula Cad/Cam y la posición obtenida mediante la férula convencional. Estudiamos el Nivel de Concordancia de forma descriptiva, considerando que existe concordancia cuando las diferencias en las mediciones obtenidas a partir de la férula convencional y las mediciones obtenidas usando la férula Cad/Cam, son inferiores a 1 mm. Con esta referencia, fijada por el Equipo de Trabajo en base a su experiencia, definimos un Nivel de Concordancia entre ambas férulas quirúrgicas:

Alto: error < 1mm en los tres planos del espacio.

Medio: error < 1mm en dos planos del espacio.

Bajo: error < 1mm en uno o ningún plano del espacio.

En nuestro trabajo, hemos realizado un plan de tratamiento siguiendo la planificación convencional, consistente en: estudio clínico, estudio fotográfico, cefalometría, TC o CT-Cone Beam y cirugía de modelos. Este plan de tratamiento nos ha servido de base para crear las férulas convencionales y para realizar nuestra simulación 3D.

Decidimos realizar la comparación entre ambas férulas en quirófano. De esta manera podemos ver de forma práctica y sencilla cuales son las diferencias y similitudes entre ambas férulas. La forma de obtener unas y otras férulas, hace difícil realizar una comparación entre ambas si no es en quirófano. Existen estudios como el de Gateno y Xia (84) con una n=7, donde se comparan los espacios de aire que existen entre ambos tipos de férulas quirúrgicas y las piezas dentales, concluyendo que existe una gran similitud entre ambos sistemas. El método utilizado en su trabajo es complejo, con una alta probabilidad de error y con un número de pacientes bajo, aunque deja la primera pista sobre la similitud

entre ambas férulas e invita a la realización de estudios con un número mayor de casos. También la comparación de ambas férulas en el articulador semiajustable pudo haber sido una forma de valorar similitudes y discrepancias, pero dos factores hicieron que se rechazara esta opción. Por un lado, el hecho de confeccionar las férulas desde métodos tan diferentes, podría hacer que los resultados de la comparación pudieran desvirtuarse si se utilizaba uno de los dos métodos para comparar ambas férulas y, por otro lado, ninguno de los estudios revisados sobre férulas Cad/Cam utilizaron dicho método para comparar ambos tipos de férulas, por lo que es de suponer que el resto de líneas de investigación tuvieron en cuenta el primer factor.

Hemos obtenido, por tanto, unas férulas quirúrgicas Cad/Cam, que conforman el grupo de estudio, y unas férulas siguiendo la metodología convencional que forma el grupo control. Hemos analizado la similitud existente entre ambos tipos de férulas quirúrgicas, realizadas en base a un mismo plan de tratamiento. Como hemos expuesto, este grado de precisión lo hemos analizado estadísticamente mediante un estudio descriptivo del Nivel de Concordancia entre ambas férulas. Por otro lado, hemos analizado el grado de correlación entre la predicción y el postoperatorio, sobre las imágenes 3D obtenidas antes y después de la intervención quirúrgica.

5.5.3. Comparación entre ambas metodologías

En este caso realizamos un análisis descriptivo de las ventajas que aporta la nueva metodología al paciente y al clínico respecto al análisis preoperatorio convencional. Esta comparación engloba dos características: ahorro de espacio y manejabilidad de los datos informatizados.

6. RESULTADOS

6.1. Aspectos generales

Obtenemos una muestra de 16 pacientes (n=16), operados en el Instituto de Cirugía Maxilofacial e Implantología de la Clínica Teknon con distintos tipos de malformaciones dentoesceléticas (tabla 6.1.1.). La distribución hombre/mujer fue 3/13 respectivamente.

n	Deformidad dentoescelética	Tratamiento quirúrgico
1	Clase III Oclusal. Cara larga, hipoplasia maxilar anteroposterior.	Cirugía Bimaxilar con segmentación maxilar.
2	Clase III. Hipoplasia anteroposterior del maxilar.	Cirugía Bimaxilar.
3	Clase III. Hipoplasia anteroposterior y transversal maxilar. Asimetría mandibular.	Cirugía Bimaxilar con segmentación maxilar.
4	Clase II Oclusal. Hipoplasia mandibular anteroposterior.	Cirugía Bimaxilar.
5	Clase II Oclusal. Hipoplasia maxilar anteroposterior y transversal, Hipoplasia mandibular. Birretrusión.	Cirugía Bimaxilar.
6	Clase II. Hipoplasia mandibular anteroposterior.	Osteotomía sagital mandibular con mentoplastia asociada
7	Clase III. Hipoplasia maxilar anteroposterior.	Cirugía Bimaxilar
8	Clase III. Hipoplasia maxilar anteroposterior y laterodesviación mandibular.	Cirugía Bimaxilar
9	Clase II. Cara larga birretrusiva. Hipoplasia maxilar anteroposterior, hiperplasia vertical maxilar vertical. Hipoplasia mandibular anteroposterior.	Cirugía Bimaxilar con segmentación del maxilar

10	Clase II. Cara larga birretrusiva. Hiperplasia maxilar vertical, hipoplasia maxilar anteroposterior, hipoplasia mandibular anteroposterior.	Cirugía Bimaxilar con mentoplastia
11	Clase III. Cara larga, hipoplasia maxilar anteroposterior e hiperplasia mandibular asimétrica.	Cirugía Bimaxilar con segmentación del maxilar
12	Clase II. Cara larga birretrusiva, hipoplasia maxilar anteroposterior, hiperplasia maxilar vertical e hipoplasia mandibular anteroposterior.	Cirugía Bimaxilar con segmentación maxilar
13	Clase II con cara larga birretrusiva.	Cirugía bimaxilar con mentoplastia.
14	Clase III. Hipoplasia maxilar anteroposterior, asimetría mandibular.	Cirugía Bimaxilar
15	Clase II: Cara corta con hipoplasia maxilar vertical y mandibular anteroposterior. Asimetría mandibular y cantina del plano oclusal.	Cirugía bimaxilar
16	Clase II. Hipoplasia maxilar antero-posterior, hiperplasia maxilar vertical, hipoplasia mandibular antero-posterior.	Cirugía bimaxilar

Tabla 6.1.1.: Pacientes que conforman el estudio con el tipo de deformidad diagnosticada y la cirugía propuesta para su corrección.

En ninguno de los casos aparecieron complicaciones durante la intervención, ni en el postoperatorio. En todos los casos se obtuvo una corrección de la maloclusión y una clara mejoría estética.

A continuación, exponemos los resultados obtenidos en el análisis de la predicción postquirúrgica en tejidos duros y blandos así como los resultados de la comparación de férulas quirúrgicas.

6.2. Niveles de Concordancia entre Férulas Quirúrgicas

Como hemos expuesto en el punto 5.5.2, se recogen diferentes medidas lineales intraorales y extraorales, necesarias para analizar los Niveles de Concordancia entre ambas Férulas Quirúrgicas. De esta manera hemos podido comparar las diferencias entre ambos tipos de férulas. Este procedimiento fue llevado a cabo durante la cirugía y siempre por el mismo Cirujano (Dr. Hernández-Alfaro). En la tabla número 6.2.1, exponemos cada caso y su Nivel de Concordancia entre los dos tipos de férulas quirúrgicas utilizadas.

n	Nivel de Concordancia
1	Alto
2	Medio
3	Bajo
4	Alto
5	Alto
6	Alto
7	Alto
8	Medio
9	Alto
10	Alto
11	Medio
12	Medio
13	Alto
14	Alto
15	Medio
16	Medio

Tabla 6.2.1.: Resultados del Nivel de Concordancia entre ambos tipos de férulas quirúrgicas.

Estos Niveles de Concordancia nos permiten evaluar qué grado de similitud existe entre los dos tipos de Férulas Quirúrgicas en los tres planos del espacio en el momento de utilizarlas durante la intervención. Debemos remarcar el alto nivel de exigencia para considerar a ambas férulas como iguales o muy similares; del mismo modo, un Nivel de Concordancia medio comporta gran similitud entre ambas férulas quirúrgicas, con errores en dos planos del espacio inferiores a 1mm e inapreciables en el resultado final.

En 9 de los 16 casos obtenemos un alto nivel de concordancia, lo que representa el 56,25% de la muestra. En 6 casos, el nivel de concordancia entre ambas férulas quirúrgicas es medio, lo que representa el 37,5%, y sólo en un caso se obtiene un nivel de concordancia bajo o, expresándolo en porcentaje, el 6,25% de la muestra tiene un bajo nivel de concordancia.

Como vemos, únicamente en un reducido porcentaje, la posición de las estructuras óseas osteotomizadas y las arcadas dentales es considerablemente diferente al utilizar una u otra férula quirúrgica. Este dato será interpretado más adelante en el séptimo apartado del presente trabajo.

6.3. Correlación entre la predicción 3D y los resultados postoperatorios.

Como hemos expuesto en el apartado de material y método, obtuvimos unas mediciones angulares y lineales de cada paciente antes y después de la intervención quirúrgica. Todos estos datos fueron obtenidos a partir de reconstrucciones tridimensionales con las que trabajamos en nuestro ordenador personal. Esto nos ha permitido estudiar el índice de correlación de cada una de ellas, analizando dónde es más precisa la predicción y dónde resulta menos predecible el resultado postquirúrgico.

En la tabla 6.3.1 mostramos el Coeficiente de Correlación intraclase (ICC), y los valores que lo acotan (límite inferior y límite superior de cada una de las mediciones efectuadas), así como su grado de significación estadística (p). Hemos considerado que existe significación estadística cuando $p < 0,05$.

	ICC	Intervalo de confianza		P
		al 95%		
		Límite inferior	Límite superior	
AF	0,880	0,687	0,958	<0,001
AnF	0,910	0,758	0,969	<0,001
ANL	0,954	0,870	0,984	<0,001
pl_Fr_Md	0,608	0,162	0,849	0,007
pl_Fr_Oc	0,375	-0,178	0,739	0,085
pl_Oc_Md	0,350	-0,204	0,726	0,101
Ns_Bs_A	0,814	0,542	0,933	<0,001
Ns'_Bs_A'	0,975	0,927	0,992	<0,001
Ns_Bs_Me	0,875	0,667	0,957	<0,001
Bs_Me	0,964	0,899	0,988	<0,001
Ns'_Bs_Me'	0,917	0,770	0,971	<0,001
Bs_Me'	0,947	0,847	0,982	<0,001
AlaD_Punta_Alal	0,624	0,186	0,855	0,002
DistInteralar	0,561	0,094	0,827	0,005
Li_Plest	0,943	0,839	0,980	<0,001
Stomio_PIOc	0,053	-0,416	0,524	0,418
AltIabsup	0,540	0,090	0,814	0,012

Tabla 6.3.1.: Resultados del Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) y grado de significación estadística (p) comparando resultados predichos y resultados post intervención.

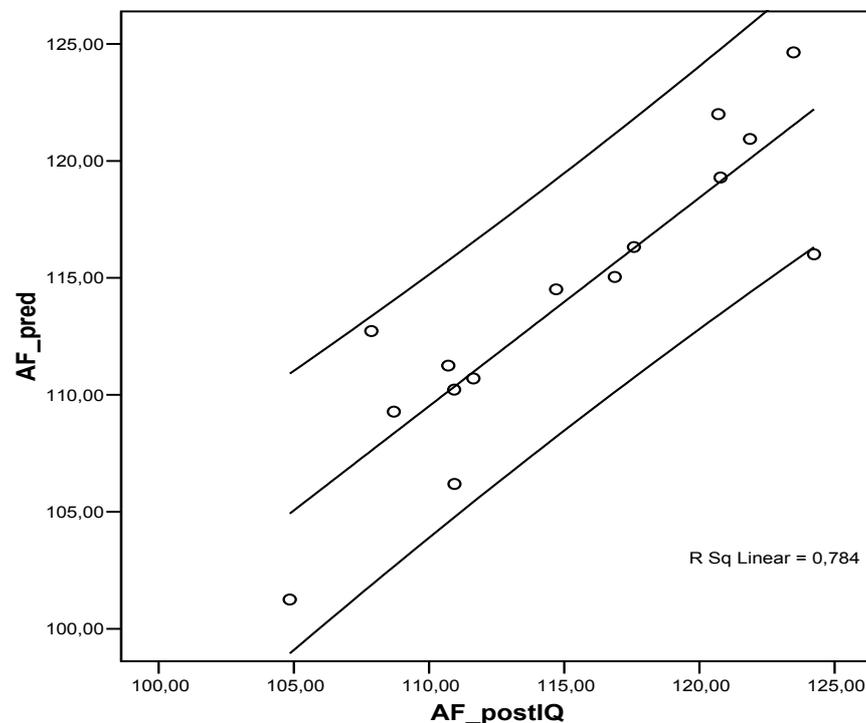
Las mediciones abreviadas en la tabla anterior son las siguientes:

- Altura facial (AF): distancia Ns-Me
- Ángulo Facial (AnF): ángulo formado entre el plano de Frankfurt y un plano vertical que pasa por Ns y dos puntos simétricos a lado y lado del punto Pg situados al mismo nivel vertical uno del otro
- Ángulo Nasolabial (ANL): formado por los puntos Ls, Sn y punta nasal
- Ángulo formado entre el Plano de Frankfurt y el Plano Mandibular (pl_Fr_Md)
- Ángulo formado entre el Plano de Frankfurt y el Plano Oclusal (pl_Fr_Oc)
- Ángulo formado entre el Plano Oclusal y el Plano Mandibular (pl_Oc_Md)
- Ángulo Ns_Bs_A
- Ángulo Ns'_Bs_A'
- Ángulo Ns_Bs_Me
- Ángulo Ns'_Bs_Me'
- Distancia Bs_Me
- Distancia Bs_Me'
- Distancia Interalar Nasal (“Distinteralar”): entre los dos puntos más convexos de ambas alas nasales
- Ángulo formado entre las alas nasales y la punta nasal (AlaD_Punta_AlaI)
- Altura del labio superior (Atlabsup)
- Distancia entre el borde del bermellón del labio inferior y el Plano Estético (Li-Plest)
- Distancia entre el Stomio y el Plano Oclusal (Stomio_PIOc)

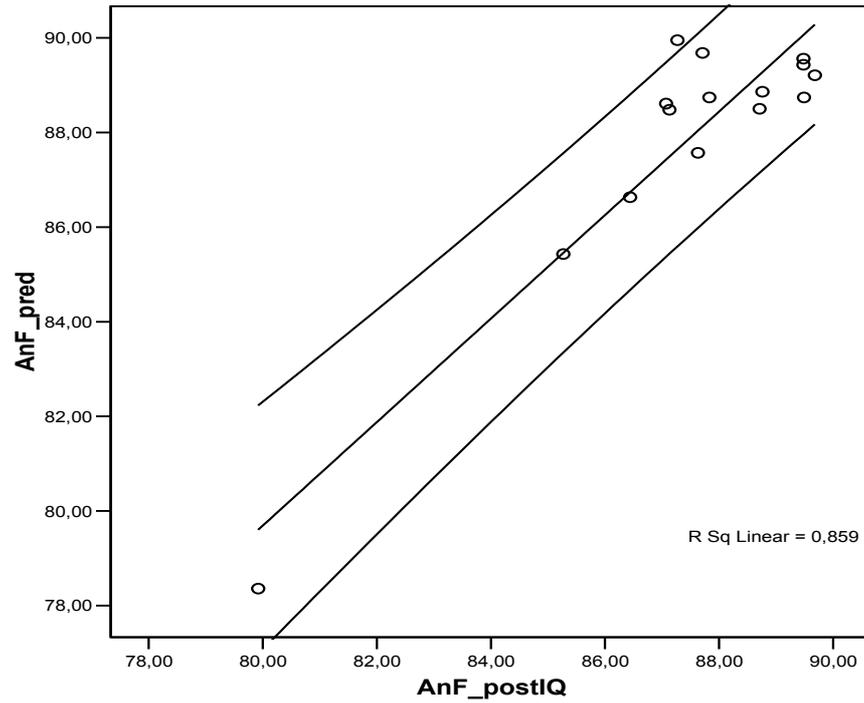
Los valores obtenidos con el ICC, varían entre 0 (ausencia de correlación), y 1 (máxima correlación). Como hemos explicado en anteriores apartados dividimos los resultados en tres categorías:

- Correlación baja si $ICC < 0.40$
- Correlación regular/buena si ICC entre 0.40 y 0.75
- Correlación muy buena si $ICC > 0.75$

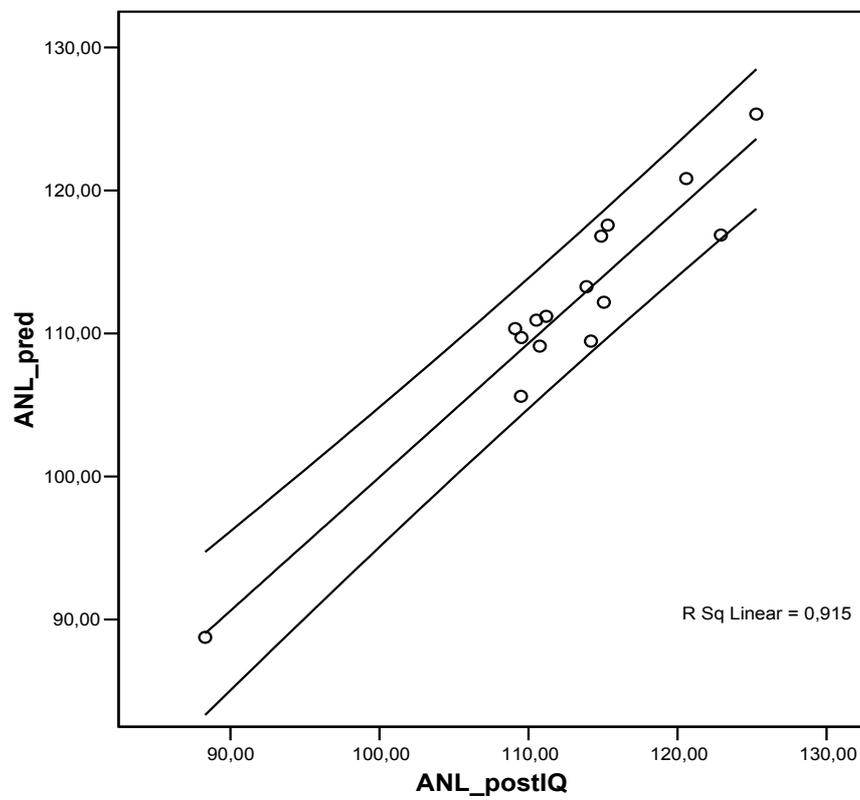
A continuación exponemos las gráficas de cada variable (6.3.1-17 con la Línea de Correlación y un Intervalo de Confianza del 95%. Se muestra, además, un parámetro “R square Linear”, el cual indica qué porcentaje explica la recta lineal obtenida de la relación vista entre las dos variables. Las variables con un Coeficiente de Correlación Intraclass pobre son las que tienen esta R cuadrado más baja, vemos más dispersión en el gráfico y tienen las líneas del intervalo de confianza al 95% más separadas.



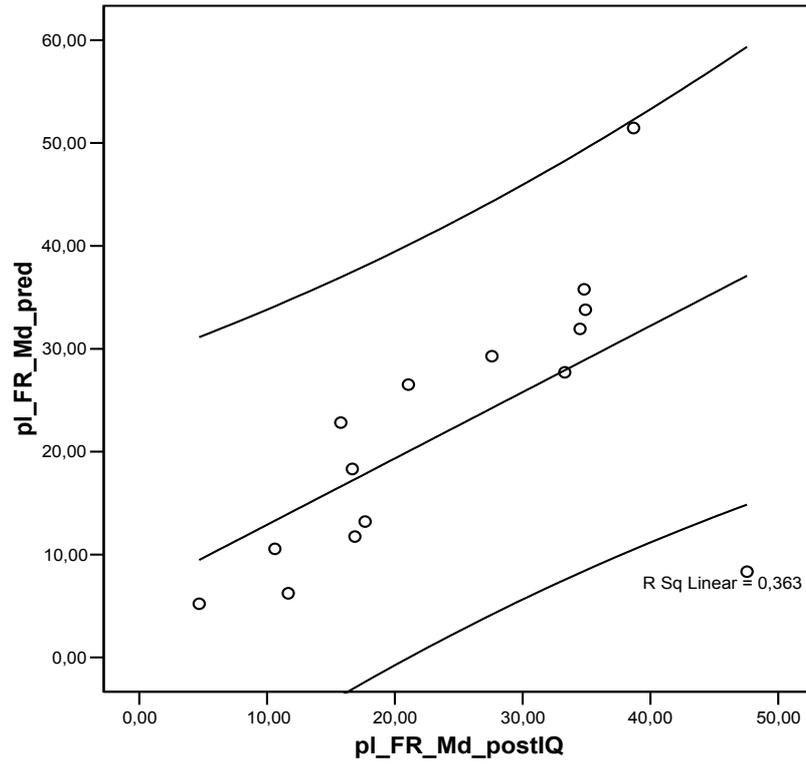
Gráfica 6.3.1.: ICC entre altura facial predicha y postoperatoria



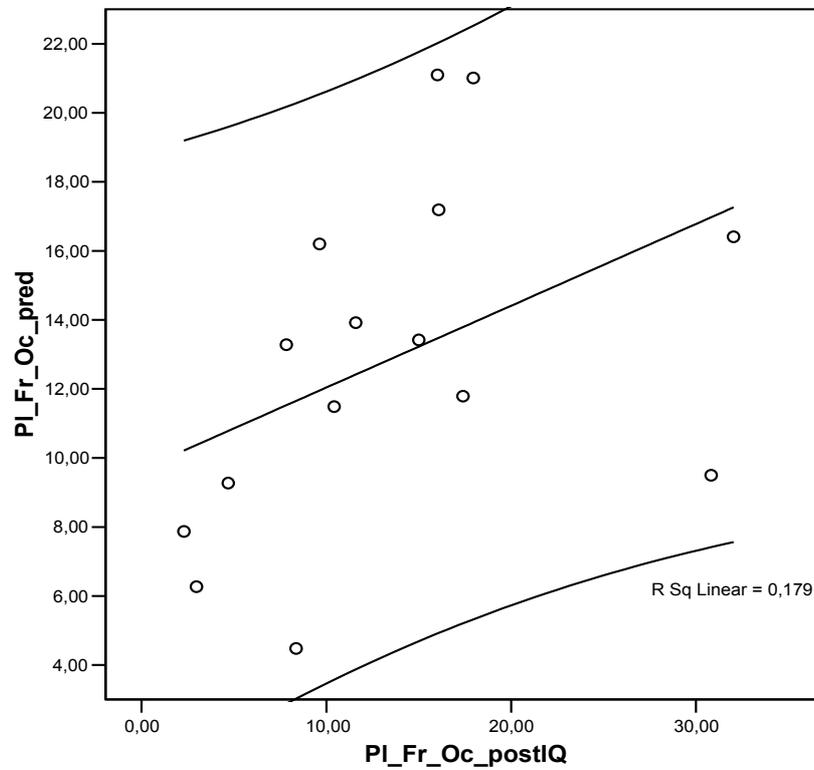
Gráfica 6.3.2.: ICC entre ángulo facial predicho y postoperatorio



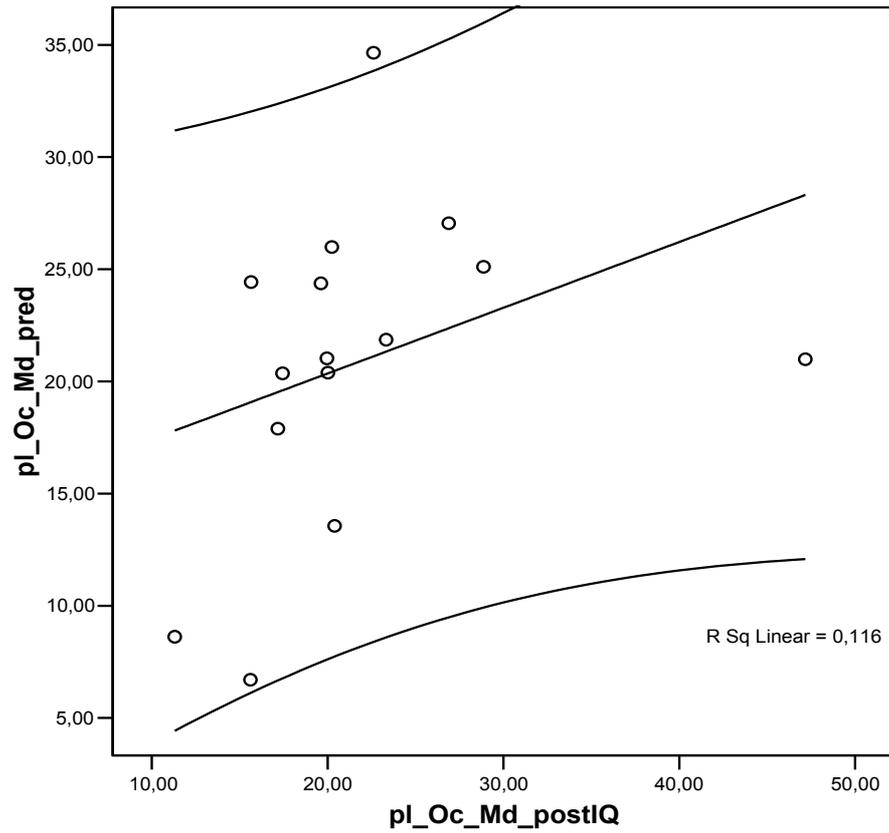
Gráfica 6.3.3.: ICC entre ángulo nasolabial predicho y postoperatorio



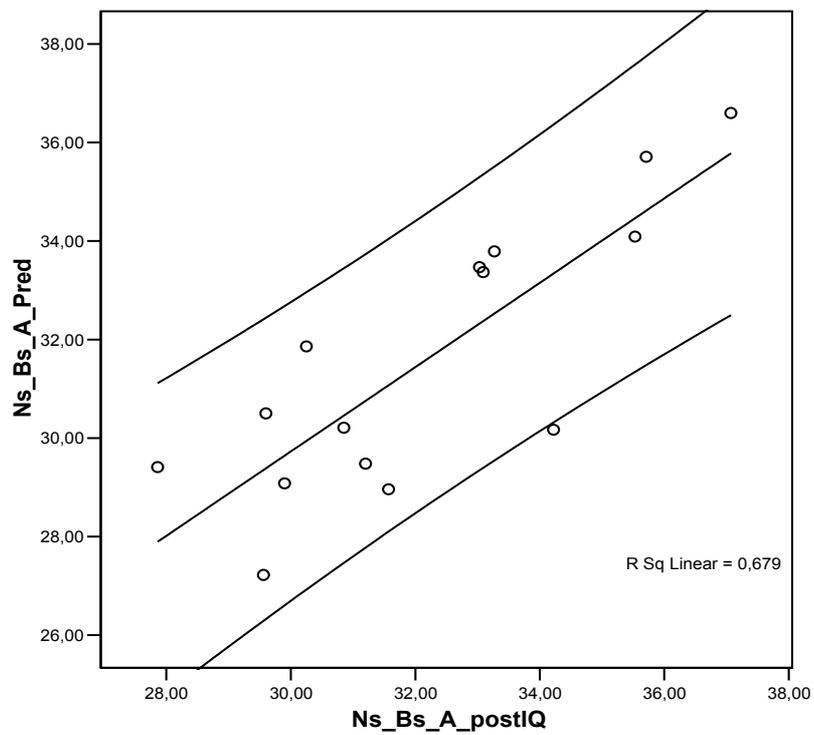
Gráfica 6.3.4. ICC del ángulo formado por el plano de Frankfurt y el plano mandibular antes y después de la intervención



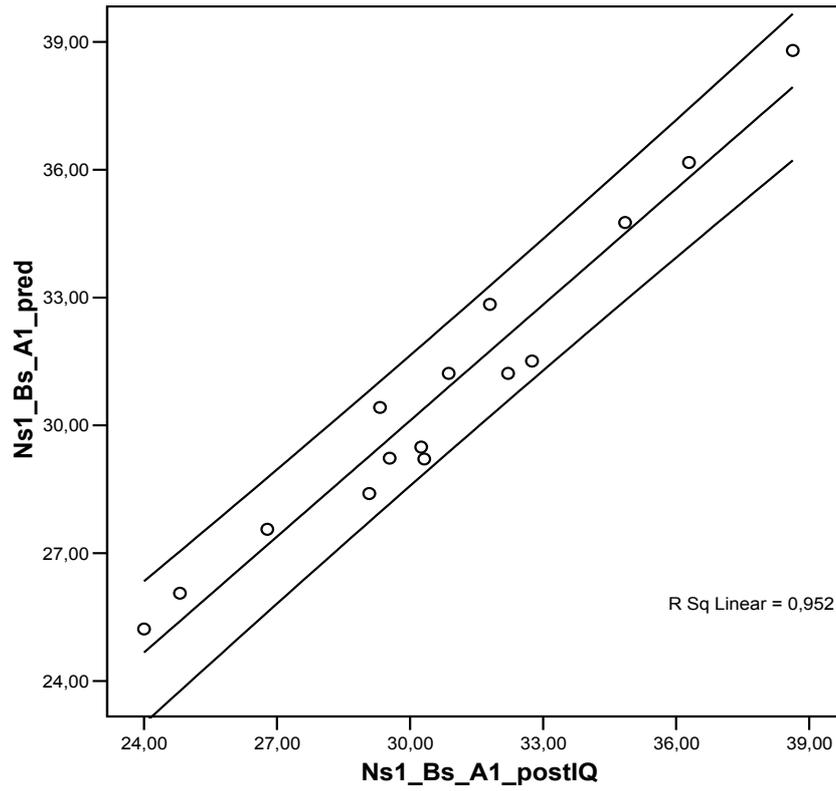
Gráfica 6.3.5.: ICC del ángulo formado por el plano de Fr y el plano oclusal antes y después de la intervención



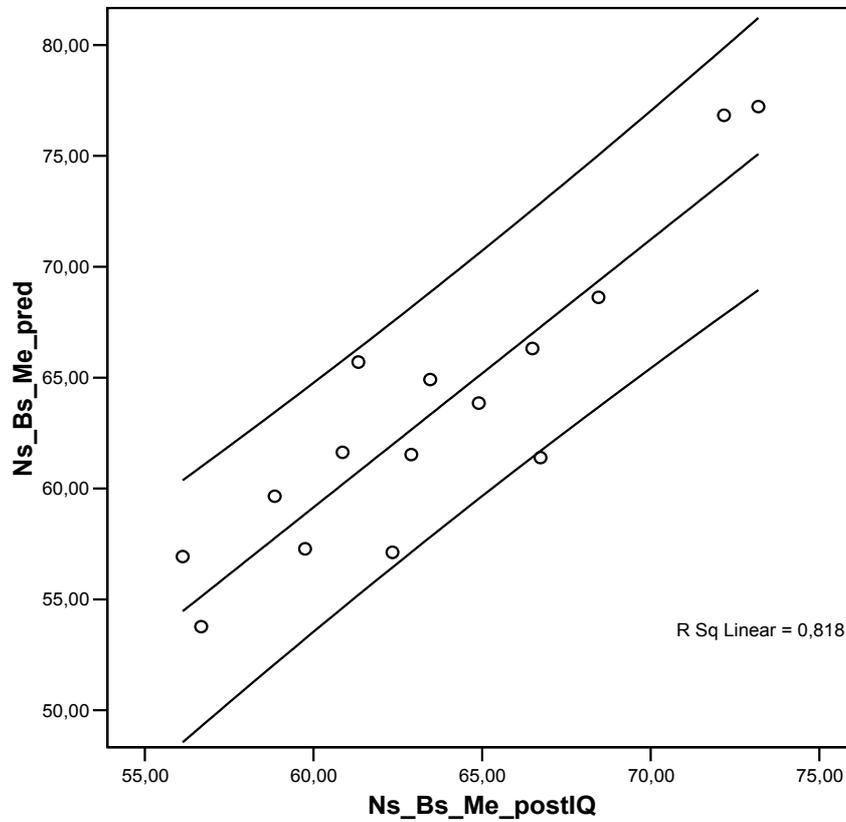
Gráfica 6.3.6.: ICC del ángulo formado entre el plano oclusal y el mandibular entre nuestra predicción y el resultado postoperatorio.



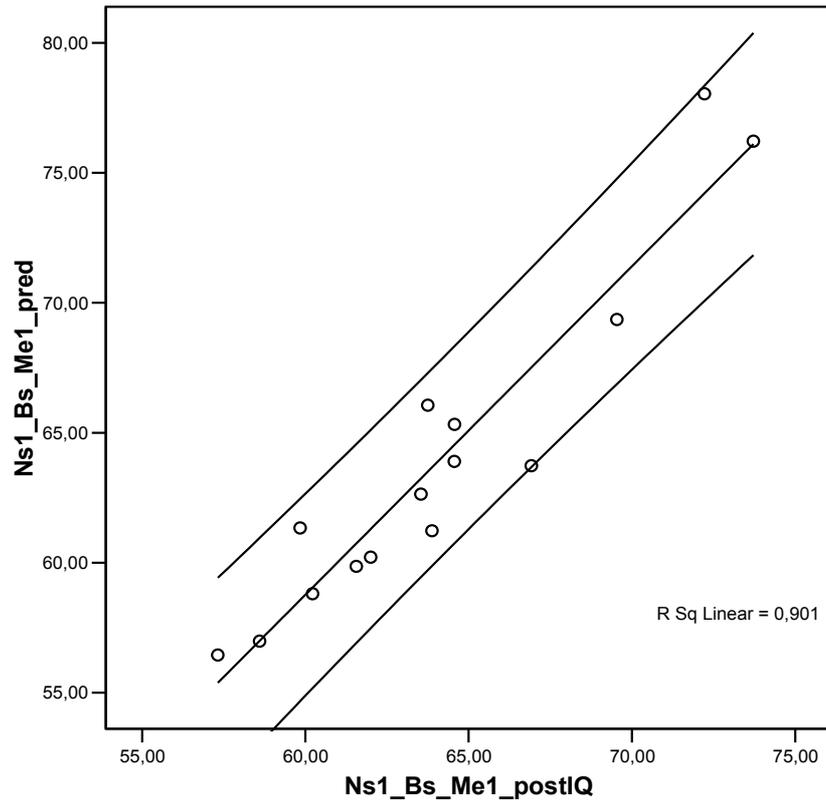
Gráfica 6.3.7.: ICC del ángulo Ns-Bs-A



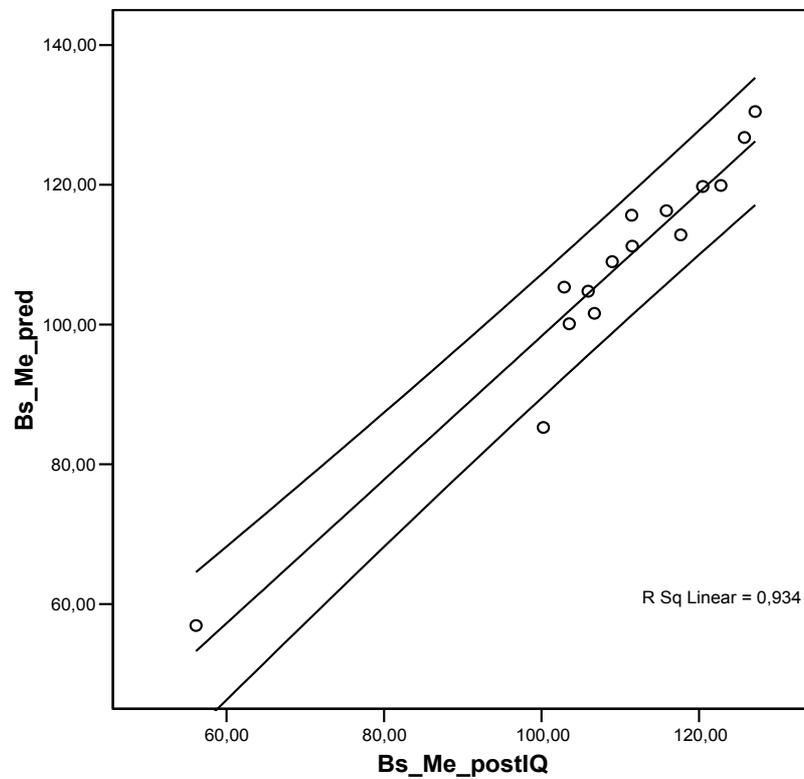
Gráfica 6.3.8.: ICC del ángulo Ns'-Bs-A'



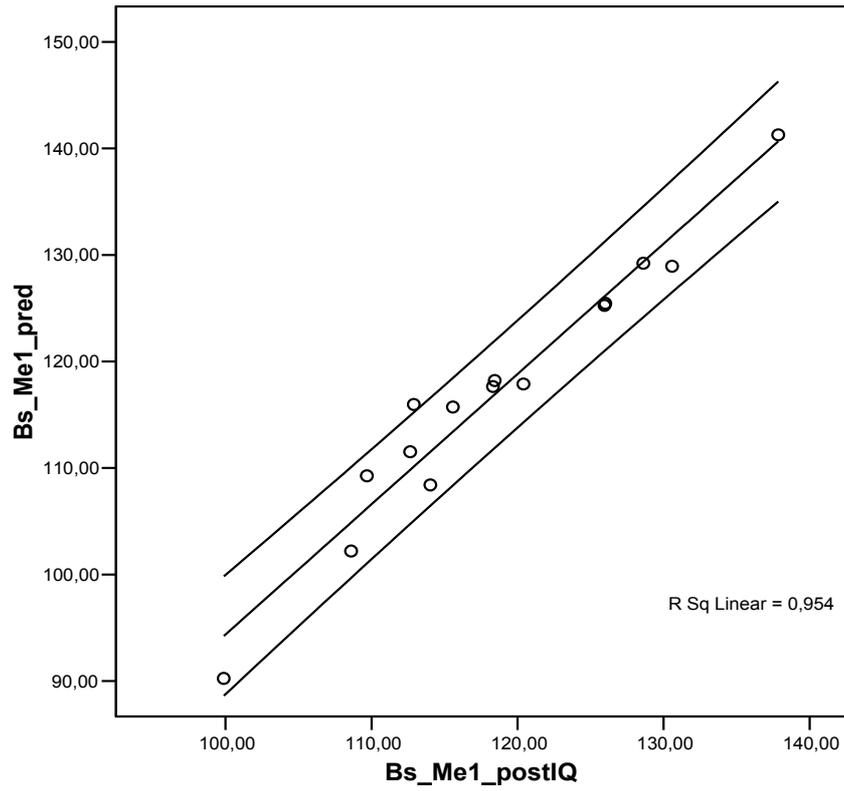
Gráfica 6.3.9.: ICC del ángulo Ns-Bs-Me



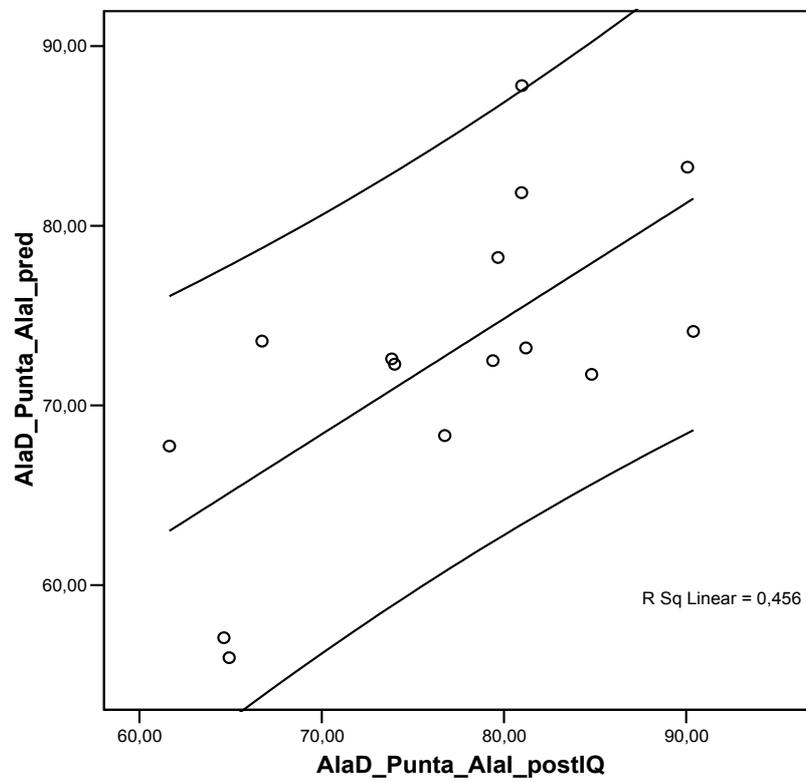
Gráfica 6.3.10.: ICC del ángulo Ns'-Bs-Me'



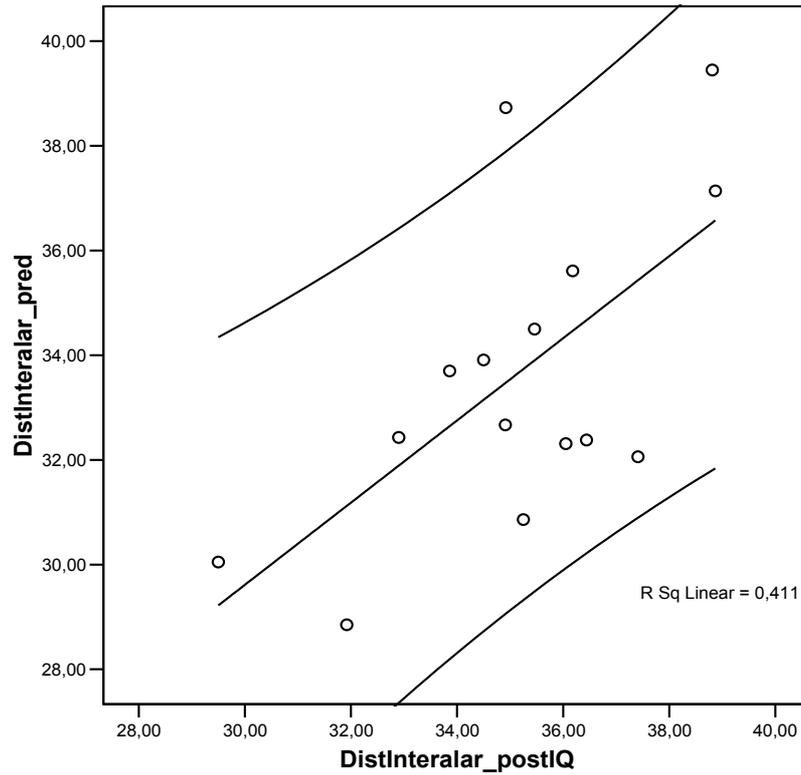
Gráfica 6.3.11.: ICC de la distancia Bs-Me



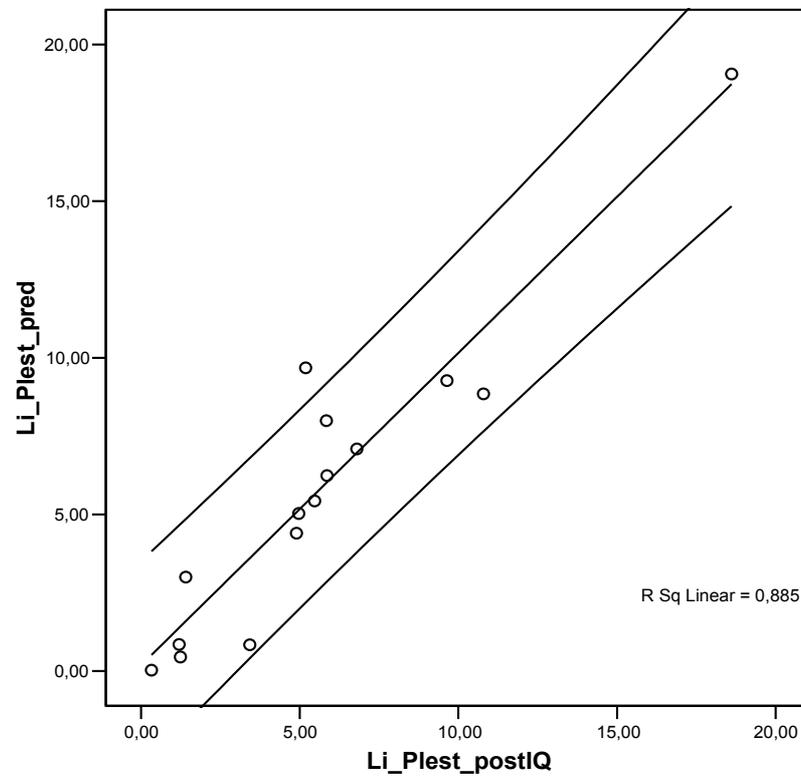
Gráfica 6.3.12.: ICC de la distancia Bs-Me'



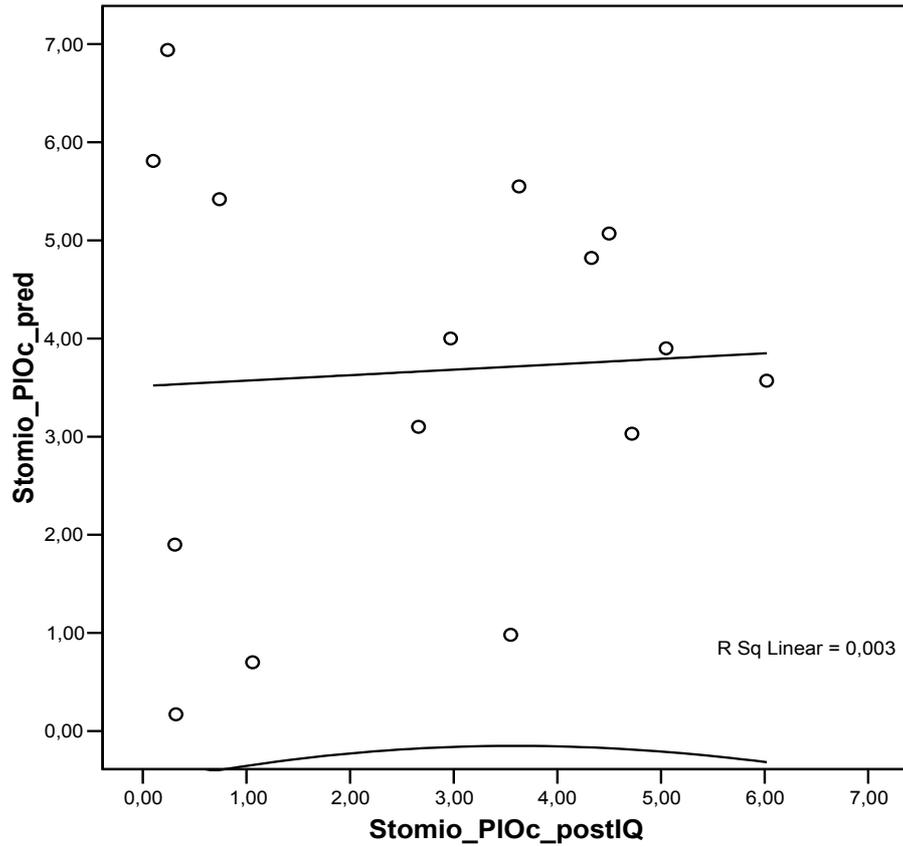
Gráfica 6.3.13.: ICC del ángulo Ala Dcha-Punta-Ala I



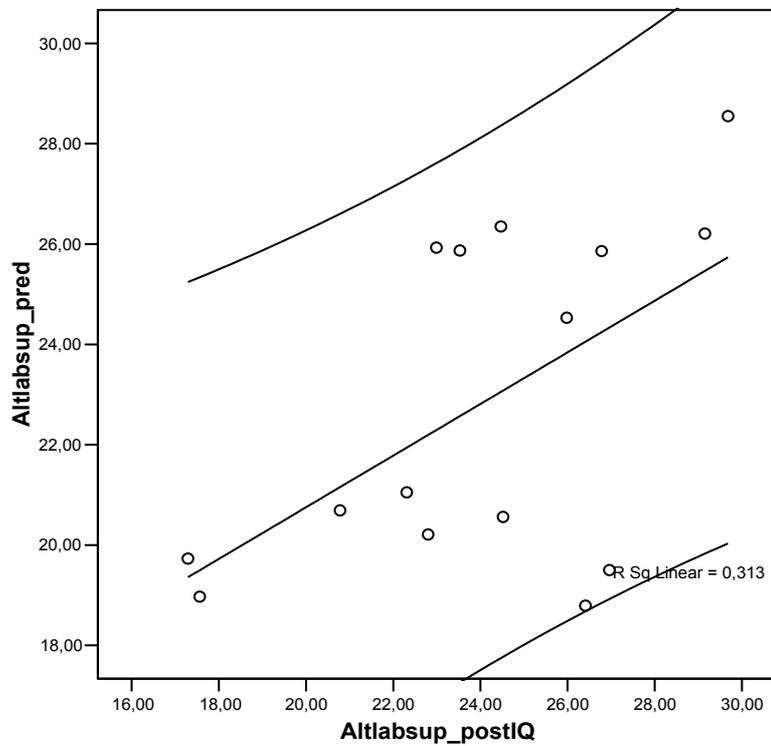
Gráfica 6.3.14.: ICC de la distancia interalar.



Gráfica 6.3.15.: ICC de la distancia Li al plano estético



Gráfica 6.3.16.: ICC de la distancia Stomio a plano oclusal



Gráfica 6.3.17.: ICC de la altura del labio superior

7. DISCUSIÓN

7.1. El Estudio Preoperatorio

El Estudio Preoperatorio es un paso crucial si queremos obtener unos resultados óptimos en Cirugía Ortognática como ya demostraron Ellis (4,33), Burstone (58) o Bell (65,122) entre otros. Esta parte del tratamiento puede ser más o menos compleja en función de los métodos utilizados. El análisis clínico, el estudio fotográfico, el estudio sobre la telerradiografía de perfil, la cirugía de modelos, la utilización de programas informáticos... son algunas de las herramientas de las que disponemos para realizar el estudio. No existe un protocolo universalmente consensuado a seguir para realizar la planificación preoperatoria, por lo que se utiliza uno o varios de estos métodos según la experiencia, formación y resultados del clínico. Existen múltiples tipos de análisis cefalométricos excelentes, aunque ante la discrepancia entre resultados cefalométricos y clínicos, estos últimos tienen mayor peso en nuestras decisiones como postuló Woldford (119)

Xia (105) en su trabajo sobre la tecnología Cad/Cam aplicada a la Cirugía Ortognática, evidenció la posibilidad de realizar un plan de tratamiento y unas férulas quirúrgicas Cad/Cam, a partir de un programa informático de forma precisa y eficiente (en términos de tiempo y dinero), en el 2006.

Desde mitad del siglo XX, donde autores como Downs (52), Steiner (53) y Ricketts (54), entre otros, sentaron las bases para el estudio de las malformaciones dento-esqueléticas, se ha intentado facilitar al clínico una “herramientas de trabajo”, para objetivar la malformación dento-esquelética en cada caso y planificar un tratamiento adecuado.

Los estudios cefalométricos realizados sobre papel, radiografías y algunos programas informáticos, muestran imágenes en 2D. Esto se traduce a la práctica en una pérdida de información, pues estamos tratando con elementos anatómicos que se movilizan en los tres planos del espacio. El Cirujano Maxilofacial tiene que hacer frente a unas complejas estructuras anatómicas y a un alto nivel de exigencias estéticas por parte del paciente, por lo que en el estudio preoperatorio,

el disponer de la máxima información se traduce en un mejor análisis del caso clínico, un correcto diagnóstico y una planificación de los objetivos a alcanzar como postula McNeil (62).

Mischkowski (123), analizó un programa informático en el que se ponía de manifiesto la importancia de trabajar en Realidad Aumentada en el campo de la Cirugía Craniomaxilofacial. Sus resultados fueron sorprendentes, con errores entre el estudio convencional y el estudio realizado en el ordenador personal inferiores a 1mm. Sus resultados evidencian la posibilidad de obtener imágenes de estructuras y regiones anatómicas a gran aumento y con una alta precisión. Estas imágenes suponen una ayuda notable para el clínico, pues, lo que mediante otras pruebas resultaba difícil de valorar o definir, ahora resulta fácil de visualizar, delimitar e incluso trabajar sobre ellas en un ordenador personal.

La dificultad que supone el trabajar en 2D y sobre estructuras anatómicas complejas por su localización y tamaño, queda resuelta con el método de trabajo que hemos estudiado. Esto es así porque incorporamos la tercera dimensión (profundidad) y porque podemos aumentar cualquier estructura anatómica en la pantalla de nuestro ordenador sin alterar la precisión de nuestras imágenes y mediciones. La superposición de imágenes que en ocasiones podemos ver en radiografías convencionales, no fue un problema al realizar nuestro plan de tratamiento en 3D.

Ricketts (124), ya constató la pérdida de información que comporta el trabajar en 2D y la necesidad de avanzar en los estudios a través de la tecnología informática. Los primeros trabajos que estudiaron las aplicaciones informáticas en cirugía, se iniciaron a mediados de los '80 por Bhatia (111), aunque las limitaciones tecnológicas del momento eran mucho más influyentes sobre los resultados que en la actualidad.

En el plan de tratamiento, se estudian los movimientos de las diferentes estructuras óseas a movilizar; para ello, existen unos puntos de referencia que forman líneas (si trabajamos en 2D), o líneas y planos (si trabajamos en 3D), de

gran importancia para obtener una simetría en el conjunto del esqueleto facial, y una armonía que proporcione unos óptimos resultados estéticos. Estas referencias son de gran utilidad, como bien expone Reynecke (125), para decidir dónde posicionar el maxilar superior:

- Posición del maxilar superior en su región anterior.
- Posición del maxilar superior en su región posterior.
- Posición del maxilar superior en lado derecho e izquierdo, para solucionar un posible “canting” (asimetría entre derecha e izquierda en el plano coronal). Una incorrecta planificación puede derivar en un nefasto resultado por falta de simetría entre derecha e izquierda. El estudio en 3D hace más fácil estudiar el esqueleto facial en una visión coronal.
- Posicionamiento en el eje anteroposterior del maxilar superior.
- Posición en el eje anteroposterior de ambos lados (derecha e izquierda). En este caso, el estudio 3D puede analizar cada lado por separado sin riesgo de superposiciones óseas como pueda ocurrir en la radiografía convencional.
- Posición del maxilar superior en el eje transversal facial. Determinada por la línea media facial, que debe coincidir con la línea interincisal de maxilar superior y mandíbula. Gracias al software analizado en este trabajo, hemos podido relacionar la línea interincisal con la línea media facial. Esta línea media facial la hemos podido dibujar en la pantalla del ordenador, situándola exactamente en el punto medio entre los dos arcos cigomáticos; asimismo hemos podido delimitar su posición, tanto en tejido óseo como en tejido blando, antes y después de la simulación de los resultados postquirúrgicos.
- Dimensión transversal del maxilar superior.

Podemos realizar todas estas mediciones en la pantalla del ordenador de forma milimétrica gracias a una función de medición que incorpora el programa informático. Una de las ventajas que ofrece el realizar las mediciones en el ordenador personal es que las imágenes 3D con las que trabajamos, no muestran estructuras anatómicas contralaterales superpuestas, lo que conlleva el situar los puntos de referencia de forma rápida, sencilla y precisa. Otra característica que facilita el estudio de la simetría, la proporción y la forma de las estructuras que forman el esqueleto facial, es el hecho de poder individualizar en la pantalla del ordenador cada parte esquelética osteotomizada y movilizarla en los tres planos del espacio, aumentar la imagen y realizar mediciones lineales y angulares sobre la misma. Todo ello, sin necesidad de obtener diferentes imágenes radiológicas, pues todas las imágenes 3D han sido obtenidas a partir de un estudio tomográfico, con la precisión que ello implica respecto a la radiología convencional. Como expuso Gateno (83) en su trabajo, podemos tener en la pantalla del ordenador la porción ósea a movilizar, visualizando en todo momento planos de referencia que nos facilitan el conseguir una perfecta simetría cuando tenemos una visión frontal o coronal del paciente.

Pero no sólo realizamos movimientos lineales en las estructuras óseas osteotomizadas. En la cirugía bimaxilar, los movimientos rotacionales del complejo maxilomandibular necesitan también un estudio previo a la operación:

- El nuevo plano oclusal y la dirección de la rotación del complejo maxilomandibular, están influenciados por la posición en el eje anteroposterior del mentón, por la anatomía paranasal y el contorno facial según Woldford (119). Este es uno de los puntos donde el poder visualizar los tejidos blandos en 3D y el poder realizar una predicción de resultados sobre los mismos toma especial relevancia, puesto que será uno de los resultados más evidentes tras la cirugía y, en ocasiones, la parte más importante para el paciente por su implicación en el resultado estético final, como mencionó en su trabajo Sarver (66).

- El punto sobre el cual va a rotar el complejo maxilomandibular, puede ser de gran ayuda para acercarnos a una predicción de resultados, como expuso Reyneke (125), ya que, según donde esté situado provocará unos cambios en el tejido blando, proyectándolo más o menos en el eje anteroposterior. Esta característica también queda reflejada cuando realizamos una predicción de resultado a nivel de los tejidos blandos. El programa informático con el que hemos trabajado nos permite posicionar nuestro punto de rotación, de cualquiera de las estructuras osteotomizadas, en el punto que nosotros creamos idóneo.

La posición en el eje vertical del complejo maxilomandibular, viene definida por diferentes puntos de referencia y la distancia entre ellos. Desde el canto interno del ojo al incisivo lateral, y/o desde el agujero infraorbitario al incisivo lateral en ambos lados, se pueden obtener mediciones que nos ayudan a estabilizar dicho complejo maxilomandibular en una correcta posición. Estas mediciones tienen por objetivo definir una posición ideal de las estructuras osteotomizadas, de tal manera que den un resultado estético y armonioso entre los tres tercios faciales, así como evitar el fenómeno de “canting”, el cual evidenciará un mal resultado tanto a nivel oclusal como estético en el postoperatorio. El programa informático estudiado en el presente trabajo, permite obtener mediciones en el eje vertical sobre la pantalla del ordenador antes y después de la osteotomía y movilización de las estructuras óseas a la posición definitiva. Asimismo, permite realizar estas mediciones sobre tejido blando y visualizar todas las estructuras anatómicas desde cualquier ángulo y a cualquier aumento. No sólo vamos a conseguir realizar estas mediciones sobre una estructura tridimensional, sino que las vamos a poder realizar sobre nuestra predicción postoperatoria, teniendo la opción de corregir, volver a realizar la osteotomía, volver a recolocar las estructuras osteotomizadas, y volver a analizar nuestras mediciones tantas veces como sea necesario, de forma rápida y sencilla en nuestro ordenador personal. Como ya hemos comentado en puntos anteriores, el hecho de tener la imagen tridimensional de toda la anatomía craneofacial, permitirá hacer un juicio global sobre problemas de asimetría, aspectos puramente estéticos a nivel de tejidos blandos, etc., antes y después de la predicción en nuestro ordenador personal.

Como hemos explicado, el hecho de trabajar con una tercera dimensión, aporta en sí mismo una información extra de la que no disponemos cuando trabajamos en dos dimensiones, pero creemos también que el disponer de un simulador que nos permita visualizar la posición final de los tejidos blandos en 3D, con la posibilidad de repetir y/o variar el estudio tantas veces como lo creamos necesario, aportaría, entre otras ventajas, el poder visualizar el comportamiento de los tejidos blandos en función de la posición del esqueleto óseo, y realizar de forma rápida múltiples simulaciones, almacenándolas de forma sencilla en carpetas informáticas, de donde recuperarlas resulta fácil y rápido, además de no ocupar espacio físico. Aunque no es la finalidad de este estudio, se hace fácil imaginar qué ventajas puede aportar este tipo de estudio para cirujanos maxilofaciales en su etapa de residencia, por la facilidad para visualizar estructuras anatómicas y osteotomías que resultan complejas de imaginar e incluso ver en quirófano si no se tiene la suficiente experiencia.

Desde un punto de vista logístico, realizar nuestro estudio preoperatorio en un PC también nos aporta ventajas, pues no estamos trabajando con material que deba almacenarse físicamente. Trabajar sobre papel dificulta el poder realizar correcciones sobre el mismo a diferencia de lo que ocurre si trabajamos en la pantalla del PC, ya que en el papel no se puede corregir un error tantas veces como queramos, ni realizar cambios en el estudio, de forma tan sencilla como también indica Xia (78,79).

Poder almacenar en el PC tantos estudios como queramos de un mismo caso, para luego poderlos comparar, repetir, corregir y compartir con otros profesionales enviándolo de forma sencilla a través de redes informáticas, es algo que facilita el estudio y unifica la información del mismo. Por otro lado, el material utilizado para realizar el estudio cefalométrico convencional, ocupa un espacio físico, más aún si se quieren almacenar los estudios de todos los pacientes tratados durante un periodo de tiempo. Esto no ocurre si se realiza un estudio informático, ya que todas las planificaciones pueden guardarse en un espacio virtual como es una carpeta informática.

Es relativamente fácil imaginar cuantas ventajas de carácter logístico (espacio y almacenamiento de datos, correcciones y repeticiones sobre estudios previos, etc.) nos aporta el trabajar en soporte informático como hemos expuesto anteriormente, pero además este sistema debe ser preciso para justificar su incorporación a nuestra rutina de trabajo habitual.

Un factor clave en la evolución de estos estudios preoperatorios, fue la importancia que se empezó a dar a los tejidos blandos, y los cambios que la movilización de estructuras óseas o dentales podrían provocar en ellos. El “análisis frontal” de los tejidos blandos se incorporó con la aparición de la fotografía digital y los programas informáticos de análisis cefalométrico, estudiándose puntos como: anchura nasal, simetría frontal, anchura mandibular... como ya expuso Ricketts (124).

Más recientemente, en los trabajos presentados por Xia (78,79), Techaler Tpaisarn (127), Ferrario (128), y McCance (129), se evaluaba la precisión de diferentes programas informáticos en la predicción de resultados a nivel de los tejidos blandos tras una cirugía ortognática, concluyendo que era un método que permitía una predicción realista en varios de los puntos estudiados, pero que seguía siendo necesario el realizar estudios con mayor número de casos que confirmaran estos datos. Según Papadopoulus (130), esta predicción es un elemento que aporta un valor añadido a la comunicación entre cirujano y paciente. Con el presente trabajo reforzamos estas hipótesis e incorporamos un trabajo con un número de pacientes mayor que los publicados a día de hoy.

Una vez justificado el uso del estudio 3D por el aporte extra de información que proporciona al clínico, y por las ventajas “logísticas” que conlleva, hay que evaluar en qué medida es útil en términos de precisión. Este punto lo discutiremos en los apartados 7.2 y 7.3.

Otro de los elementos clave en el estudio preoperatorio convencional, es la cirugía de modelos y su montaje en el articulador. Este es el único elemento en 3D, de estructuras anatómicas “duras” como son las arcadas dentales, del que

disponemos en un estudio preoperatorio convencional, y nos muestra la relación entre las arcadas dentales. No nos da ninguna información en 3D de las estructuras óseas subyacentes, por lo que será utilizado para buscar la correcta oclusión dental, pero no nos informará de los cambios a nivel de las estructuras óseas y los tejidos blandos que conforman la máscara facial. No permite relacionar la línea media facial con la línea interincisal, ni la línea media mentoniana con la línea interincisal inferior. Estas limitaciones no existen en la visión en 3D con la que hemos trabajado, ya que, mediante el programa informático estudiado, podemos trazar líneas o planos que pasen por los puntos de referencia que más nos interesen, y estudiar cómo un cambio en la posición del mentón, por citar un ejemplo, puede influir en los tejidos blandos adyacentes. El programa 3D con el que hemos trabajado, permite: obtener una visión global de todo el esqueleto craneofacial y del tejido blando, la posibilidad de visualizarlo desde infinitos planos, aumentar la imagen e interactuar movilizándolo cualquier parte ósea que haya sido osteotomizada.

Esta información extra, facilita una visión global de todos los tejidos blandos y del esqueleto facial, mientras que, a través del estudio convencional, toda esta información nos llega desde diferentes pruebas (radiografías, modelos de las arcadas dentales, fotografía...) sin que haya una interacción entre todas ellas, sino que el clínico extrae información de cada una de las pruebas del estudio y elabora un plan de tratamiento. Pensamos que el disponer de toda la información en una sola prueba facilita el estudio, evita la pérdida de información y disminuye errores sistemáticos que se acumulan en cada una de las pruebas que requerimos para realizar el estudio convencional como, expone en su trabajo Olszewski (131).

Una de las dificultades que tuvimos que solventar en nuestro estudio, fue el conseguir unas imágenes 3D precisas de las estructuras dentales. Para ello, se realizó una tomografía computerizada de los modelos dentales, que aportara a las imágenes 3D con las que íbamos a trabajar en el ordenador, la información necesaria para conseguir la máxima precisión de las arcadas dentales, en cuanto a

forma, tamaño y pequeños detalles anatómicos. Este paso también lo realizó Metzger (86) en su trabajo, aunque su estudio solo valoró un caso clínico.

La cirugía de modelos llevada a cabo en el estudio convencional, simula la posición de ambas arcadas dentales tras la intervención quirúrgica y, en ocasiones, implica cortar y volver a unir los fragmentos de los modelos en la posición deseada. Esta simulación realizada manualmente en el laboratorio, la hemos llevado a cabo en nuestro ordenador personal gracias al programa informático estudiado. En la cirugía de modelos convencional, la mano del hombre influye mucho más, pues es quien realiza el corte y vuelve a pegar los fragmentos y, lo que es más importante, no nos permite realizar la maniobra tantas veces como queramos si no es obteniendo unos nuevos modelos del paciente. Otra característica que aporta la informatización del proceso, es que consume menos tiempo para su realización como expone Xia (105) en su trabajo sobre el coste-efectividad de la tecnología Cad/Cam aplicada a la cirugía ortognática.

Creemos que el programa informático puede aportar unas características al estudio preoperatorio, intrínsecas al hecho de informatizar el proceso, como son:

- Precisión en las osteotomías y en el movimiento de las estructuras óseas movilizadas. Todo ello en un entorno informatizado, teniendo el milímetro y el grado como unidades de medición.
- Rapidez y disponibilidad de toda la información en el ordenador personal.
- La posibilidad de repetir la operación tantas veces como sea necesario.

En la mayoría de trabajos donde se estudia un programa informático aplicado a la Cirugía Ortognática, se estudia la precisión en la predicción de resultados y cómo mejora la comunicación cirujano-paciente como ya han expuesto muchos autores como Sarver (66), Gateno (80), Ferrario (128),

McCance (129), Papadopoulus (130) y Silyangco (112). Menor es el número de trabajos que estudian la creación de férulas quirúrgicas por métodos diferentes al convencional, ya sea a través de dispositivos diferentes al articulador, como a través de dispositivos Cad/Cam. Entre estos estudios destacan los de Gateno (84) y Metzger (86).

Nos ha parecido interesante exponer en este primer punto de la discusión, cuales son las ventajas que este tipo de estudio, por sus características intrínsecas, nos ha proporcionado respecto al método convencional. A continuación, queremos analizar qué resultados objetivos en términos de precisión aporta este tipo de estudio, pues entendemos que es la base sobre la que debe sustentarse la aplicación de esta metodología de trabajo.

7.2. La Férula Quirúrgica

No es infrecuente que un paciente candidato a una Cirugía Bimaxilar requiera de unos complejos movimientos esqueléticos. Erickson (81), describió el maxilar como un cuerpo libre en el espacio una vez efectuada la osteotomía, pudiendo moverse en los tres ejes del espacio (antero-posterior, medio-lateral y vertical). En la cirugía de modelos, una de las maniobras más difíciles es la de repositionar los modelos de las arcadas dentarias en el articulador, consiguiendo una correcta oclusión. Así pues, no se hace difícil imaginar la dificultad en llevar a cabo estos movimientos en quirófano.

Usando una férula intermedia esta maniobra se vuelve rápida, fácil y precisa por parte del cirujano, el cual deberá establecer la apropiada dimensión vertical, pues la dimensión posteroanterior y mediolateral vendrán determinadas por la férula quirúrgica como menciona Ellis en su trabajo (32).

¿Puede el maxilar superior posicionarse de forma precisa, rápida, fácil y predecible sin el uso de la férula quirúrgica? La mayoría de autores creen que no, como explica Ellis (33), en su artículo publicado en 1.999. En varios estudios se ha cuantificado esta precisión, encontrándose que en el plano horizontal la posición puede variar hasta 2mm de la posición planificada, y en el plano vertical, la variación va de 0,5 a 1mm, como expusieron Bryan (132), y Hillerup (133).

En quirófano tenemos puntos de referencia para cuantificar los movimientos en el eje vertical, como por ejemplo: los agujeros infraorbitarios, cantos internos de ambos párpados, cúspide de piezas dentales, brackets... mientras que los dos ejes restantes (transversal y anteroposterior), vendrán dados por una guía que será la férula quirúrgica. Resulta interesante observar cómo según los estudios anteriormente citados, los movimientos en los ejes que dependen de la férula quirúrgica, conllevan una mayor discrepancia entre la posición obtenida en el estudio preoperatorio y la posición de las arcadas obtenida utilizando la férula quirúrgica, que los posicionamientos o movimientos obtenidos

“manualmente” en quirófano sobre el eje vertical, menos dependiente de la férula quirúrgica.

Toda la confección de la férula Cad/Cam, gira en torno a nuestra planificación 3D, mientras que la fabricación de las férulas quirúrgicas convencionales, se basa en la cirugía de modelos. Ambos son métodos de confección de férulas quirúrgicas, muy diferentes el uno del otro, y es un hecho evidente que la información en el método convencional proviene de elementos donde la mano del hombre influye mucho más (estudio de modelos, radiología convencional, fotografía digital...), que la información obtenida a partir de la tomografía y las imágenes 3D. Esta simplificación en la obtención de la información, puede traducirse en un menor error en el proceso de fabricación de la férula Cad/Cam. En el sistema estudiado en el presente trabajo, obtenemos férulas quirúrgicas donde la mano del hombre apenas interviene, pues todo el proceso está informatizado y robotizado. Esta característica, creemos que proporciona precisión en la confección de las férulas.

Por tanto, podríamos suponer u otorgar una serie de características a la tecnología Cad/Cam que aportan mayor precisión a la férula quirúrgica:

1. Las Férulas Quirúrgicas creadas a partir de la tecnología Ca/Cam son el producto de un estudio en 3D de las diferentes estructuras anatómicas del paciente. Cuando realizamos el estudio cefalométrico en 2D, se pierde una información, que puede traducirse en una alteración en las proporciones y la armonía facial en el resultado final postoperatorio, como hemos explicado anteriormente. En el estudio en 3D, disponemos de toda la visión en conjunto de las estructuras anatómicas craneofaciales, con lo cual podemos calcular las dimensiones en los tres planos del espacio en una sola imagen, y posicionar las estructuras óseas y dentales teniendo muy presente el resto de la anatomía facial. Es lógico creer que efectos de proporcionalidad y simetría facial, se aprecian con mayor claridad en el estudio 3D, lo que llevaría a deducir que la posición en la simulación de las estructuras osteotomizadas es más precisa cuando el estudio está hecho en 3D, como también han expuesto Xia (78), y Metzger (86).

2. La férula quirúrgica creada a partir de tecnología Cad/Cam, incluye métodos de fabricación donde la mano humana tiene poco protagonismo a favor de la informatización y robotización de la producción. Todos los datos informatizados son transmitidos al brazo robotizado que fabricará la férula esterolitográficamente incidiendo sobre un material fotopolimerizable, razón por la cual, creemos que es un proceso de fabricación más preciso que el convencional para obtener férulas que coincidan con nuestro plan de tratamiento.

3. No necesitamos del articulador ni de la Cirugía de Modelos para confeccionar las férulas quirúrgicas por Cad/Cam, con el consiguiente ahorro de material y espacio que ello comporta, pues todo el estudio está en nuestro ordenador personal.

Esta metodología de trabajo está cada vez más instaurada en muchas ramas de la industria. El hecho de instaurarse y desplazar a la forma tradicional de manufacturación, es debido a que aporta unos beneficios evidentes. Aunque en la mayoría de objetos de consumo estos beneficios son económicos (mayor productividad en menor tiempo y con menos personal humano que suele ir acompañado de menor gasto económico), pueden, además, hacerse patentes en características como: precisión, practicidad, sencillez y mayor aporte de información. Estos son beneficios que podríamos llamar directos, pero existen unos beneficios indirectos, como por ejemplo, el hecho de abaratar el producto si su manufacturación es más rápida, y bajar los costes de su fabricación como demostró Xia (105), en 2006.

En nuestro estudio, hemos obtenido una gran similitud entre ambas férulas quirúrgicas. En el 93,75% de los casos, la diferencia entre ambas férulas ha sido $< 1\text{mm}$ en, como mínimo, dos de los tres planos del espacio. Consideramos que el grado de similitud entre ambas férulas ha sido alto, trasladándose a quirófano de forma precisa nuestra planificación. Tenemos un caso donde las dos férulas han mostrado un bajo grado de concordancia traduciéndose en diferencias $> 1\text{mm}$ en más de un plano del espacio. Es importante remarcar, que en este caso el paciente

presentaba un edentulismo parcial inferior, en sectores posteriores del tercer y cuarto cuadrante.

Tenemos tres métodos para llegar a confeccionar férulas quirúrgicas en cirugía ortognática:

- Mediante la toma de modelos y el montaje en el articulador. Este sería el método más ampliamente utilizado hasta ahora.
- A partir de modelos estereolitográficos de las arcadas dentarias y el esqueleto craneofacial del paciente.
- A partir de métodos de Cad/Cam, como hemos mostrado en el presente trabajo.

Como podemos deducir de estos tres métodos, el desarrollo tecnológico ha ido paralelo a la aparición de cada uno de ellos. En el método convencional de manufacturación de férulas quirúrgicas, las imágenes obtenidas para el estudio de cada caso, no juegan un papel primordial en la creación de las férulas. En el caso de los modelos estereolitográficos, se obtienen estructuras anatómicas del paciente en 3D, a partir de datos informatizados, con las que trabajar y crear la férula. Por último, aparecen sistemas informáticos que nos aportan esas mismas estructuras 3D en la pantalla de nuestro PC, con las cuales poder trabajar en un entorno tridimensional con la ventaja de poder repetir tantas veces como se quiera nuestro estudio, realizar correcciones, mediciones milimétricas de forma sencilla y guardar todos los datos e imágenes en carpetas informáticas. En este último caso el único material “físico” que tendremos en 3D serán las FQ una vez confeccionadas.

Por tanto, podemos decir que existe una evolución lógica en la confección de las Férulas Quirúrgicas, donde la “mano del hombre” ha ido perdiendo protagonismo en favor de la digitalización y mecanización de los procedimientos de manufacturación. Las posibilidades que da el realizar el

estudio del ordenador personal, son muy ventajosas desde un punto de vista de diseño de las férulas ya que nos permite ver a gran aumento detalles anatómicos difíciles de valorar cuando estamos trabajando a una escala real. Un punto interesante en el estudio de la oclusión en 3D, es la posibilidad que nos proporciona el programa informático de estudiar todos los puntos de contacto entre arcada dental superior e inferior calculando el grado de interferencia que existe entre dos superficies oclusales en milímetros. También aporta la posibilidad de trabajar en cualquier lugar, puesto que solo necesitamos un ordenador personal para realizar el plan de tratamiento, e incluso, como es el caso de este estudio, operar a los pacientes en un punto geográfico y confeccionar las férulas quirúrgicas a miles de kilómetros, recibiendo la información gracias a la red informática.

7.3. Predicción de resultados postquirúrgicos

El atractivo físico y el deseo de mejorar la apariencia facial, son una fuerte motivación para que el paciente se someta a una intervención de cirugía ortognática, como han expuesto diferentes autores: Eckhardt (134) y Kiyak (135) entre otros. Cada vez más trabajos inciden en la importancia de los resultados estéticos. La predictibilidad del resultado depende, en gran medida, de la relación entre tejido duro y blando. Los cambios en el tejido óseo no conllevan siempre unos cambios predecibles en el tejido blando, debido a que múltiples variables pueden influir sobre los tejidos blandos, como son: su grosor, los fenómenos inflamatorios y la técnica quirúrgica utilizada, como explica Subtelny en su artículo (136).

Es muy difícil definir el ideal estético, debido a su subjetividad, derivada de la variabilidad en los criterios de cada clínico y de cada paciente. Establecer objetivos y expectativas comunes en cuanto a los resultados ortodóncico-quirúrgicos, es una parte crucial del plan de tratamiento, hecho en el que coinciden infinidad de trabajos. Las diferentes técnicas de imagen o video, pueden ayudar a establecer de forma clara y concisa estos objetivos, y a delimitar estas expectativas como nos indica Upton (137). En esta línea, pensamos que la imagen tridimensional favorece la comunicación con el paciente, pues éste no se ve obligado a interpretar imágenes bidimensionales, como pudiera ser una telerradiografía de perfil. Llegar a un objetivo común y un buen entendimiento entre ortodoncista, cirujano y paciente creemos es el primer paso para evitar crear falsas expectativas.

En el momento actual, procedimientos quirúrgicos puramente estéticos, han pasado a entrar dentro del radio de acción que un cirujano maxilofacial debe dominar cuando trata a este tipo de pacientes. Hasta hace relativamente poco no se contemplaba el realizar una rinoplastia, un aumento de pómulos u otras técnicas quirúrgicas destinadas exclusivamente a conseguir unos objetivos estéticos, durante una cirugía ortognática. Esto ha cambiado, dándose en muchos casos, una importancia capital al resultado postoperatorio, en cuanto a la estética

facial se refiere. Por esta razón, pensamos que una precisa predicción de resultados postoperatorios en 3D, como la que hemos llevado a cabo en el presente trabajo, puede favorecer una comunicación más fluida entre médico y paciente, delimitando cuales son, desde el punto de vista estético, los resultados esperados.

La predicción en los resultados del tejido blando, es un importante reto en cirugía ortognática. Aunque la mayoría de estudios están basados en el tejido óseo, es posible crear imágenes 3D, con las que trabajar como expuso Xia (78). Ya hemos visto en anteriores apartados, que existen varios análisis computerizados de cefalometrías laterales, que se usan para predecir los resultados postquirúrgicos en el plano antero-posteriores y vertical (Dentofacial Planner™, OPAL™, Quick Ceph™, TIOPS™), pero estos programas nos privan de parte de la información, puesto que no incorporan la tercera dimensión (profundidad), como es el caso del software con el que hemos trabajado.

La creación de un entorno de trabajo 3D, donde se pueda reproducir el plan de tratamiento en nuestro PC, y la posterior simulación de los cambios en el tejido blando, una vez movilizadas las estructuras óseas, nos ha aportado una visión más completa de toda la anatomía craneofacial, y una ausencia de superposición de imágenes habitual en la cefalometría lateral craneofacial, como concluye Gateno en sus publicaciones (80,83-85), sobre planificación 3D. En esta línea es en la que hemos trabajado, comprobando cuán precisa puede ser esta predicción, tanto a nivel de tejidos blandos como de tejidos duros, realizando mediciones lineales y angulares. De esta manera, se pueden conocer cuales son las mediciones que más difícil resulta predecir, analizar posibles errores sistemáticos y mejorar los programas informáticos para hacer de ellos una herramienta fiable de análisis, diagnóstico, predicción de resultados, comunicación con el paciente y fabricación de Férulas Quirúrgicas.

Entrando a comentar nuestros resultados en la predicción de resultados, podemos confirmar la posibilidad de realizar predicciones de forma precisa en varias de las mediciones estudiadas. Nos parece muy interesante la alta precisión

obtenida en la predicción de medidas verticales como por ejemplo la altura facial. Esta medida es de gran importancia en el resultado final, pues es un resultado muy evidente, tanto en una visión de perfil como en una visión frontal y oblicua del paciente, por lo que ser capaces de predecir con exactitud este resultado, nos parece de gran valor en la planificación. Otras de las mediciones analizadas aportan de forma precisa la proyección que van a tener los tejidos duros y blandos en sentido antero-posterior. Estos resultados aportan un valor añadido a la predicción, con respecto a las predicciones sobre la telerradiografía de perfil, la cual no aporta la misma precisión en la predicción de tejidos duros y blandos.

Por lo tanto, valorando estos resultados de predicción, podemos asegurar que el método utilizado nos aporta una precisa predicción en sentido vertical y en sentido anteroposterior y, la posibilidad de estudiar las estructuras anatómicas en una visión frontal, facilita el solucionar el fenómeno de “canting” o asimetría en el plano coronal de las estructuras osteotomizadas. Esta visión coronal de las estructuras osteotomizadas, la posibilidad de movilizar dichas estructuras, y el crear planos o líneas de referencia, hacen que la obtención de una simetría en la visión frontal de la cara del paciente sea algo sencillo y rápido de lograr durante nuestra planificación. Esta característica hace al método que hemos estudiado único, pues la metodología convencional solo nos permite obtener fotografías de la cara del paciente en la visión frontal y, en todo caso, una reconstrucción tridimensional de una tomografía computerizada pero sobre la que no podemos trabajar.

En la literatura científica consultada hasta la fecha, no hemos encontrado trabajos sobre este tipo de tecnología, con un número de casos superior al nuestro, y que estudien tanto la precisión en la predicción de resultados como la precisión en la confección de férulas quirúrgicas.

La herramienta diagnóstica que hemos analizado en el presente trabajo puede reforzar nuestro juicio clínico, aunque seguirá siendo básico el explicar al paciente, que la predicción es una guía hacia el resultado, pero no una garantía. Esto es así, porque existen errores que se producen de forma sistemática en la

predicción de resultados, como son las mediciones en la zona anatómica de tejido blando que engloba el labio inferior. Otros estudios han subrayado la diferencia, en cuanto a precisión se refiere, en la predicción de intervenciones quirúrgicas monomaxilares con respecto a las bimaxilares, etc., como también apuntó Eales (138). En nuestro estudio, también ha resultado poco precisa la predicción, cuando entraba en juego el plano oclusal. Existen puntos a mejorar, como puede ser el adiestramiento de los técnicos de radiología, para obtener las imágenes en este tipo de pacientes, y también, la evolución de pruebas radiológicas que permitan captar con mayor precisión las estructuras dentales, sin necesidad de escanear unos modelos del paciente; esto significaría la eliminación de la toma de modelos como parte del estudio preoperatorio.

Tradicionalmente, los planes de tratamiento se han realizado en base a un estudio clínico, estudio fotográfico, predicciones hechas a mano sobre la cefalometría y la Cirugía de Modelos como ya hemos expuesto en anteriores apartados. Esto podría resumirse en: toma de registros o recogida de información, análisis del problema y diagnóstico, y planificación del tratamiento. Esta forma de planificar un caso, no permite al paciente ver de forma sencilla los resultados que se quieren alcanzar, y frecuentemente no puede apreciar los resultados finales predichos, como expone Loh (139). En primer lugar, porque el paciente está viendo imágenes bidimensionales craneofaciales, a las que no está habituado, y en segundo lugar, porque la información le llega desde diferentes puntos de vista (cefalometría, modelos y fotografía). El método que hemos analizado fusiona toda esta información, proporcionándonos una imagen tridimensional que consideramos de más fácil comprensión para el paciente e incluso para el clínico. El poder entender mejor cuales son los objetivos reales de la intervención quirúrgica y como conseguirlos, puede llevar al paciente a interactuar más con el clínico mediante preguntas y sugerencias. En definitiva, a mejorar la comunicación médico-paciente. Esto previene al paciente y al cirujano de falsas expectativas en cuanto a los resultados finales. Esta precisión en la predicción, también permite al clínico estudiar todas las posibles opciones de tratamiento, como también coincide Loh (139).

Los resultados de predicción obtenidos, también coinciden con otros estudios comentados anteriormente, en que ciertas mediciones resultan mucho más difíciles de predecir. En nuestro trabajo, las mediciones angulares entre planos que tomaban como referencias estructuras dentales, o predicciones realizadas exclusivamente sobre tejido blando que englobara el punto Stomio o la región alar nasal, han sido menos precisas. Los datos analizados tienden a mostrar mayor dificultad para predecir resultados, cuando se realizan mediciones exclusivamente sobre tejidos blandos. En cuanto a las imágenes 3D de la predicción, nos han mostrado cambios evidentes entre el antes y después de la simulación quirúrgica, siendo más realistas las imágenes que engloban la región mentoniana y paranasal a nivel de surcos nasogenianos, así como la proyección labial superior. Por el contrario, la proyección de la punta nasal no nos ha parecido lo suficientemente realista en las imágenes 3D, aunque sí en las mediciones realizadas sobre el ángulo nasolabial.

Nuestros peores resultados en cuanto a predicción, se han dado en mediciones que englobaban la región alar nasal, el plano oclusal o el punto Stomio. La anchura nasal a nivel de las regiones alares es de difícil predicción, por lo que el aspecto postoperatorio en una visión frontal de esta zona anatómica no ha sido una de las predicciones más precisas en nuestro estudio. En cuanto a las mediciones que engloban el plano oclusal, creemos que se ven influenciadas en gran medida por la oclusión del paciente y la posición de su cabeza en el momento de la prueba de imagen.

La predicción postoperatoria a nivel de tejidos blandos, será más precisa a medida que los programas informáticos sean capaces de englobar en sus bases de datos, más variables que influyen en el resultado final postoperatorio, como la contracción muscular o mímica facial, los fenómenos inflamatorios individuales o la técnica quirúrgica utilizada. Para ello, es imprescindible la evolución tecnológica, tanto a nivel de software, como de hardware y fotografía digital. Nuestros resultados, y el resto de estudios mencionados o comentados en nuestro trabajo sobre predicción trabajando en 3D, nos hacen pensar que es cuestión de tiempo el que esta metodología de trabajo llegue a implantarse como un método

rutinario de planificación preoperatorio. En nuestro estudio a nivel de las imágenes 3D de la predicción postoperatoria, podemos decir que no todos los casos estudiados muestran en una visión global de la cara del paciente, resultados exactos, aunque sí existe una alta correlación en la mayoría de las mediciones realizadas que comparan la simulación y el postoperatorio. Por esta razón, creemos que la evolución tecnológica de los programas informáticos, hará más realistas las imágenes 3D de las predicciones postquirúrgicas en este tipo de cirugía.

El hecho de representar la máscara facial que conforma el tejido blando, como un elemento informático formado por una maya de estructuras polihédricas que se deforman de una u otra manera, en función de la deformidad que adquiera el polihedro contiguo, limita el programa informático, pues da un valor numérico o matemático al comportamiento del tejido blando.

8. CONCLUSIONES

1. El almacenamiento de datos en carpetas informáticas aporta ventajas en el manejo de los mismos en cuanto a almacenamiento, recuperación de archivos y repetibilidad de la planificación. La red informática simplifica la movilidad de la información respecto al correo convencional.
2. Se ha podido realizar una predicción precisa del resultado postquirúrgico en la mayoría de las mediciones analizadas sobre tejido duro y/o blando, aunque existen mediciones donde aparece un error sistemático que consideramos intrínseco al programa informático y el procesado de imágenes desde su adquisición tomográfica hasta la obtención de imágenes 3D.
3. Es posible obtener férulas quirúrgicas precisas a partir de tecnología CadCam, con las cuales trasladar nuestro plan de tratamiento a quirófano de forma precisa.

9. PERSPECTIVAS DE FUTURO

Los avances tecnológicos aplicados a diferentes ramas de la medicina y la odontología, ya han conseguido mejorar pruebas diagnósticas, técnicas quirúrgicas, y la confección de materiales utilizados durante una intervención quirúrgica. Aun así, existen límites tecnológicos que requieren una fuerte inversión de tiempo y recursos económicos para ser superados. Cada vez somos más dependientes en nuestros diagnósticos de pruebas de imagen que nos aporten una información precisa sobre la patología a tratar. Estas pruebas pasaron de un soporte en papel a un soporte informático y, actualmente, ya se ha conseguido disminuir la radiación en pruebas radiológicas, que antaño suponían exponer a nuestros pacientes a una radiación no despreciable. La telemedicina es una realidad en el momento actual gracias al tratamiento que damos a los datos informatizados. La red informática global aporta rapidez en la comunicación, e incluso, comunicación en tiempo real. Estos son algunos de los efectos de la evolución tecnológica sobre diferentes áreas de la medicina y, que en nuestro estudio, hemos podido aplicar al tratamiento de las deformidades dentoalveolares.

En un futuro próximo, pensamos que el estudio del paciente con una deformidad dentoalveolar requerirá solo de una tomografía cone beam y un ordenador personal que, gracias a un programa informático, nos dé imágenes en 3D con las cuales planificar el caso clínico. La evolución de los programas informáticos actuales, conllevará mayor precisión en la creación de las férulas quirúrgicas mediante tecnología Cad/Cam, y la no necesidad de tomar modelos de las arcadas dentales del paciente, para mejorar la precisión en forma y tamaño de las estructuras dentales, en las imágenes 3D, como aún hacemos en el momento actual.

Otro de los puntos donde la aparición de versiones evolucionadas de los programas informáticos actuales puede aportar más precisión y predictibilidad, es en la predicción de resultados postoperatorios. El poder ofrecer al paciente una serie de imágenes tridimensionales sobre su aspecto tras la intervención quirúrgica, y la posibilidad que esta tecnología brinda al clínico para repetir sus

estudios, valorar diferentes resultados, y poder escoger entre la opción más adecuada, aporta un valor añadido a los estudios convencionales.

Esto hará que determinadas formas de trabajo tengan que acomodarse a las nuevas tecnologías, debido a que estos programas simplifican el proceso de planificación en varios aspectos:

- No será necesario tomar modelos de las arcadas dentales.
- No será necesario la telerradiografía de perfil, pues se podrá obtener la información gráfica desde una tomografía Cone Beam. Una vez las imágenes en formato Dicom se procesan, obtendremos en el ordenador personal imágenes 3D, una telerradiografía de perfil y cortes tomográficos axiales.
- Todo el estudio cefalométrico se realizará en 3D en un ordenador personal. No tendremos la necesidad de almacenar los estudios en papel radiográfico, papel de cebolla o láminas de acetato.
- No será necesaria la cirugía de modelos, ni el montaje en el articulador, pues realizaremos las osteotomías y la movilización de estructuras óseas en nuestro ordenador personal.
- El almacenamiento de toda la información sobre el paciente y su plan de tratamiento, se hará en carpetas informáticas fáciles de recuperar y de enviar de un ordenador a otro a través de la red informática.

Esto, a su vez conllevará unas consecuencias inherentes a la metodología de trabajo. Por un lado, la posibilidad de que el paciente interactúe más en la planificación del caso junto al clínico, hará que pueda tener más peso su opinión sobre aspectos puramente estéticos y que el clínico pueda objetivar de forma precisa cuales son las expectativas del paciente. Otro aspecto importante es la

consecuencia que el cambio en la fabricación de la férula quirúrgica conllevará. En este sentido hemos de subrayar el hecho de que no es necesario que sea el clínico quien trabaje con el programa que hemos estudiado, puesto que cualquier persona adiestrada puede realizar las osteotomías y los movimientos óseos, si el clínico le indica lo que quiere obtener. También puede deducirse el cambio que esto puede provocar en el laboratorio de prótesis dental, donde se podría pasar del articulador a la pantalla del ordenador, y de la confección de férulas convencionales a la fabricación de las férulas mediante tecnología Cad/Cam.

En cuanto a la planificación de los casos clínicos pensamos que, el hecho de obtener todo tipo de imágenes en 3D, ofrece la posibilidad de estudiar nuevos puntos anatómicos que formen líneas y/o planos que se puedan incorporar a nuestro estudio cefalométrico tridimensional. Es decir, esta información que nos ofrece la tridimensionalidad, abre una vía de investigación al estudio de mediciones lineares y angulares, que no podíamos calcular en 2D, o que conllevaban un alto riesgo de error por imprecisión de las pruebas radiográficas y/o por la dificultad para marcar ciertos puntos anatómicos en dichas pruebas.

El paso a lo que conocemos como 4D, donde tenemos imágenes fotográficas de la cara del paciente, es actualmente posible en las últimas versiones del programa informático estudiado en el presente trabajo. También creemos conveniente introducir el término conocido como 5D que aporta datos fisiológicos sobre el funcionamiento de un órgano o aparato, es decir, no solo vemos imágenes sino que también se puede estudiar la fisiología. Esto permitiría estudiar y predecir el funcionamiento de todo el aparato estomatognático tanto a nivel oclusivo, funcionamiento de la Articulación Temporo-Mandibular, deglución y vía aérea antes y después del tratamiento ortodóncico-quirúrgico.

Por todo lo expuesto en este apartado pensamos que son necesarios más estudios y un mayor desarrollo tecnológico para poder mejorar los programas informáticos y las pruebas de imagen de manera que puedan influir elevando la precisión de las férulas quirúrgicas y la predicción de resultados postoperatorios.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Epker BN, Fish LC, Stella JP, Stella J, Fish L. Dentofacial Deformities: Integrated Orthodontic and Surgical Correction. 2ª ed. St.Louis: Mosby; 1996.p.28-124
2. Proffit WR, White RP Jr, Sarver DM. Contemporary Treatment of Dentofacial Deformity. St.Louis: Mosby; 2003.p.26-238
3. Proffit WR, Fields HW Jr. Ortodoncia Contemporánea. Teoría y práctica. 3ª ed. Madrid: Harcourt; 2002.p.205-348
4. Ellis E. Accuracy of model surgery: evaluation of an old technique and introduction of a new one. J Oral Maxillofac Surg 1990;48:1161-7
5. Schroll K. Experimental studies and clinical experiences with plate osteosynthesis of intra-oral fractures of the edentulous mandible. I. ZWR 1974;83:650-3
6. Champy M, Loddle JP, Jaeger JH, Wilk A, Gerber JC. Mandibular osteosynthesis according to the Michelet technic. Justification of new material. Results. Rev Stomatol Chir Maxillofac 1976;77:252-5
7. Champy M, Loddle JP, Jaeger JH, Wilk A. Ostéosyntheses mandibulaires selon la technique de Michelet. I Bases Biomécaniques. Rev Stomatol Chir Maxillofac 1976;77:569-76
8. Champy M, Loddle JP, Jaeger JH, Wilk A, Gerber JC. Ostéosyntheses mandibulaires selon la technique de Michelet. II Presentation d'un nouveau material. Résultats. Rev Stomatol Chir Maxillofac 1976;77:577-82
9. Champy M, Loddle JP, Schmitt R, Jaeger JH, Muster D. Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach. J Maxillofac Surg 1978;6:14-21
10. Chuong CJ, Borotikar B, Schwartz-Dabney C, Sinn DP. Mechanical characteristics of the mandible after bilateral sagittal split ramus osteotomy; comparing 2 different fixation techniques. J Oral Maxillofac Surg 2005;63:68-76
11. Steinhäuser EW. Bone screws and plates in orthognathic surgery. Int J Oral Surg 1982;11:209-16
12. Rouviere H. Tratado de Anatomía Humana. Descriptiva, topográfica y funcional. 8ª ed. Madrid: Baillo-Bailliere; 1974.p.31-113

13. Steinhäuser EW. Historical development of orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg* 1996;24:195-204
14. Hullihen SP. Case of elongation of the under jaw and distortion of the face and neck caused by a burn, succesfully treated. *Am J Dent Sci* 1849;9:157
15. Blair VP. Operations on jaw bones and face: study of aetiology and pathological anatomy of developmental malrelations of maxila and mandible to each other and to facial outline and of operative treatment when beyond the scope of the orthodontist. *Gynecol Obstet* 1907;4:67-78
16. Blair VP. Underveloped jaw with limited excursion . *J Am Dent Assoc* 1909;17:178-83
17. Cladwell JB, Letterman GS. Vertical osteotomy in de mandibular rami for correction of prognathism. *J Oral Maxillofac Surg* 1954;12:185-202
18. Quevedo Rojas L.A. Osteotomía sagital de rama mandibular en cirugia ortognática. *Rev Esp Cirug Oral y Maxilofac.* 2004; 26:14-21
19. Trauner R, Obwegeser H. The surgical correction of mandibular prognathism and retognathia with considerations of genioplasty. *Oral Surg* 1957;10:787-92
20. Dal Pont G. Retromolar osteotomy for the correction of prognathism. *J Oral Surg* 1961;19:42-7
21. Hunsuck EE. A modified intraoral sagittal splitting technique for correction of mandibular prognathism. *J Oral Surg* 1968;26:249-52
22. Bell H. William. Biological basis for modification of the sagittal ramus split operation. *J Oral Surg* 1976;34:215-24
23. Epker N. Bruce. Modifications in the sagittal osteotomy of the mandible. *J Oral Surg* 1977;35:157-9
24. Wolford L. The Mandibular Inferior Border Split. *J Oral Surgery* 1990;48:92-4
25. Wyatt WM. Sagittal ramus split osteotomy: literature review and suggested modification of technique. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1997;35:137-41
26. Bell WH, Fonseca RJ, Kenneky JW, Levy BM. Bone healing and revascularization after total maxillary osteotomy. *J Oral Surg.* 1975;33:253-60
27. Turvey TA, White RP Jr. Maxillary Surgery in Surgical-Orthodontic Treatment. St. Louis; Mosby: 1991. p. 248-263.
28. Obwegeser HL. Surgical correction of small or retrodisplaced maxillae. The "dish-face" deformity. *Plast Reconstr Surg.* 1969;43:351-65

29. Moloney F, Worthington P. The origin of the Le Fort I maxillary osteotomy: Cheever's operation. *J Oral Surg* 1981;39:731-4
30. Bell WH. Le Fort I osteotomy for correction of maxillary deformities. *J Oral Surg* 1975;33:412-26
31. Epker BN, Woldford LM. Middle third facial osteotomies: their use in the correction of acquired and developmental deformities and craniofacial deformities. *J Oral Surg* 1975;33:491-514
32. Ellis E. Modified Splint design for two jaw surgery. *J Clinic Orthodont* 1982;16:619-22
33. Ellis E III. Bimaxillary Surgery Using an Intermediate Splint to Position the Maxilla. *J Oral Maxillofac Surg* 1999;57:53-6
34. Lindorf HH, Steinhauser EW. Correction of jaw deformities involving simultaneous osteotomy of the mandible and maxilla. *J Maxillofac Surg* 1978;6:239-44
35. Buckley MJ, Tucker MR, Fredette SA. An alternate approach for staging simultaneous maxillary and mandibular osteotomies. *Int J Adult Orthodont Orthognath Surg* 1987;2:75-8
36. Lapp T. Bimaxillary surgery without the use of an intermediate splint to position the maxilla. *J Oral Maxillofac Surg* 1999;57:57-60
37. Xia J, Samman N, Yeung RWK, Wang D, Shen SGF 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
38. Hart-Davis A. Historia del origen de la civilización a nuestros días. 1ª ed. Madrid: Pearson educación; 2008.p.116-275
39. Zöllner F. Leonardo da Vinci. Sketches and Drawings. Köln: Taschen; 2004.p.74-8
40. Toman R. El arte en la Italia del Renacimiento. Arquitectura, escultura, pintura, dibujo. Ed Konemann; 2008.p.78-165
41. Sailer HF, Haers PE, Zollikofer CPE, Wranke T, Carls FR, Stuck P. The value of stereolithographic models for preoperative diagnosis of craniofacial deformities and planning of surgical corrections. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1998;27:327-33
42. Arvier JF, Barker TM, Yau YY, D'Urso PS, Atkinson RL, McDermant GR. Maxillofacial biomodelling. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1994;32:276-83

43. Taha F, Testelin B, Deschepper B, Devauchelle B. Chirurgie orthognathique et modèles sterolithographiques. Nouvelle technique de transfert de l'occlusion dentaire. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 2000;101:65-71
44. Netter FH. *Atlas of Human Anatomy*. Basle, Switzerland: Ciba-Geigy; 1991.p.16-36
45. Boileau Grant JC. *Atlas of Anatomy*. 6^a ed. Baltimore: The Williams & Wilkins CO; 1972.p.201-65
46. Philippa H. Francis-West, P. H. Francis-West, Kikuo J. R. Cho. *Craniofacial Development: The tissue and molecular interactions that control development of the head*. New York: Springer-Verlag New York, LLC; 2003. p.48-96
47. McCarthy JG. *Craniosynostosis and Craniofacial Microsomia*. McCarthy JG, Epstein FJ, Wood-Smith D. *Plastic Surgery: Cleft Lip & Palate and Craniofacial Anomalies*. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 1990. p.3013-99.
48. Enlow DH, Kuroda T, Lewis AB. The morphological and morphogenetic basis for craniofacial form and pattern. *Angle Orthod* 1971;41:161-88
49. Enlow DH, Pfister C, Richardson E, Kuroda T. An analysis of Black and Caucasian craniofacial patterns. *Angle Orthod* 1982;52:279-87
50. Broadbent BH, Sr. A new x-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthod* 1931;1:44
51. Tweed CH. The Frankfurt mandibular incisal angle (FMIA) in orthodontic diagnosis, treatment planning, and prognosis. *Angle Orthod* 1954;24:121
52. Downs WB. Analysis of the Dentofacial Profile. *Angle Orthod* 1955;26(4):191-212
53. Steiner CC. Cephalometrics in Clinical Practice. *Angle Orthod* 1956; 29:8-29
54. Ricketts RM. Planning treatment on the basis of facial pattern and an estimate of its growth, Part 1. *Angle Orthod* 1957;27:14
55. Riedel RA. Analysis of dentofacial relationships. *Am J Orthod* 1957;43:103
56. Enlow DH, Moyers RE, Hunter WS, McNamara JA Jr. A procedure for the analysis of intrinsic facial form and growth. An equivalent-balance concept. *Am J Orthod*. 1969;56:6-23
57. Björk A, Solow B. Measurement on radiographs. *Am J Orthod* 1969;5:585-99
58. Burstone CJ, James RB, Legan H, Murphy GA, Norton LA. Cephalometrics for orthognathic surgery. *J Oral Surg* 1978;36:269-77

59. Delaire J. How do the upper maxillary osteotomies serve orthodontics. *Orthod Fr* 1968;39:801-4
60. Delaire J. Architectural and structural craniofacial analysis (lateral view). Theoretical principles. Some example of its use in maxillofacial surgery. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 1978;79:1-33
61. Delaire J, Schendel S.A, Tulasne J.F. An architectural and structural craniofacial analysis: a new lateral cephalometric analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1981;52:226-38
62. McNeil RW, Proffit WR, White RP. Cephalometric prediction for orthodontic surgery. *Angle Orthod* 1972;42:154-64
63. Robinson SW, Speidel TM, Isaacson RJ, Worms FW. Soft tissue profile change produced by reduction of mandibular prognathism. *Angle Orthod* 1972;42:227-35
64. Fish LC, Epker BN. Surgical orthodontic cephalometric prediction tracings. *J Clin Orthod* 1980;14:36-52
65. Bell WH, Proffit WR, White RP. Surgical correction of dentofacial deformities. Vol.1. Philadelphia:WB Saunders Co.;1980.p-34-324
66. Sarver DM, Johnston MW, Matukas VJ. Video imaging for planning and counselling in orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 1988;46:939-45
67. Thomas JR, Freeman MS, Remmler DJ, Ehlert TK. Analysis of patient response to preoperative computerized video imaging. *Arc Otolaryngol Head Neck Surg* 1989;115:793-6
68. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontics diagnosis and treatment planning. Part I. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:299-312
69. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontics diagnosis and treatment planning. Part II. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:395-411
70. Holdaway RA. A soft tissue cephalometric analysis and its use in orthodontic treatment planning. Part I. *Am J Orthod* 1983;85:279-83
71. Talaas MF, Baker RC. Soft tissue profile changes resulting from retraction of maxillary incisors. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1987;91:385-394
72. Drobocky OB, Smith RJ. Changes in facial profile during orthodontic treatment with extraction of four first premolars. 1989;95:220-30
73. Park YC, Burstone CJ. Soft tissue profile- fallacies of hard tissue standards in treatment planning. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1986;90:52-62

74. Legan HL, Burstone CJ. Soft tissue cephalometric analysis for orthognathic surgery. *J Oral Surg* 1980;38:744-51
75. Sinclair PH, Kipelainen P, Phillips C, White RP, Rogers L, Sarver DM. The accuracy of video imaging in orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1995;107:177-85
76. Harradine NWT, Birnie DJ. Computerized prediction of the results of orthognathic surgery. *J Maxillofac Surgery* 1985;13:245-9
77. Turpin DL. Computers coming on line for diagnosis and treatment planning. *Angle Orthod* 1990;60:163-4
78. Xia JJ, Gateno J, Teichgraeber JF. Three-dimensional computer-aided surgical simulation for maxillofacial surgery. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. 2005 Mar;13:25-39
79. Xia JJ, Gateno J, Teichgraeber JF, Christensen AM, Lasky RE, Lemoine JJ, Liebschner MA. Accuracy of the computer-aided surgical simulation (CASS) system in the treatment of patients with complex craniomaxillofacial deformity: A pilot study. *J Oral Maxillofac Surg*. 2007 Feb;65:248-54
80. Gateno J, Xia JJ, Teichgraeber JF, Christensen AM, Lemoine JJ, Liebschner MA, Gliddon MJ, Briggs ME. Clinical feasibility of computer-aided surgical simulation (CASS) in the treatment of complex cranio-maxillofacial deformities. *J Oral Maxillofac Surg*. 2007;65:728-34
81. Erickson KL, Bell WH, Goldsmith DH. Analytical model surgery: Modern Practice in Orthognathic and Reconstructive Surgery, vol 1. Philadelphia: Saunders; 1992 .p.154-216
82. Nattestad A, Vedtofte P, Mosekilde E. The significance of an erroneous recording of the centre of mandibular rotation in orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg* 1991;19:254-9
83. Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, Rosen A. A new technique for the creation of a computerized composite skull model. *J Oral Maxillofac Surg*. 2003 ;61:222-7.
84. Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, Rosen A, Hultgren B, Vadnais T. The precision of computer-generated surgical splints. *J Oral Maxillofac Surg*. 2003;61:814-7
85. Gateno J, Teichgraeber JF, Xia JJ. Three-dimensional surgical planning for maxillary and midface distraction osteogenesis. *J Craniofac Surg*. 2003;14:833-9

86. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schwarz U, Teschner M, Hammer B, Schmelzeisen R. Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three-dimensional printer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105:1-7
87. Machover C, Tice SE. Virtual Reality. *IEEE Comput Graphics Appl* 1994;27: 875-89
88. Girod B. Efficiency analysis of multihypothesis motion-compensated prediction for video coding. *IEEE Trans Image Process* 2000;9:173-83
89. d'Hauthuille C, Taha F, Devauchelle B, Testelin S. Comparison of two computer-assisted surgery techniques to guide a mandibular distraction osteogenesis procedure. Technical note. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2005;34:197-201
90. Santler G. 3-D COSMOS: a new 3-D model based computerised operation simulation and navigation system. *J Craniomaxillofac Surg* 2000;28:287-93
91. Cousley RRJ, Grant E, Kindelan D. The validity of computerized orthognathic predictions. *J Orthodont* 2003;30:149-154
92. Walker GF. A new approach to the analysis of craniofacial morphology and growth. *Am J Orthod* 1976;70:663
93. Lagravère MO, Carey J, Toogood RW, Major PW. Three-dimensional accuracy of measurements made with software on cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134:112-6
94. Dula K, Mini R, Lambrecht JT, van der Stelt PF, Schneeberger P, Clemens G, Sanderink H, Buser D. Hypothetical mortality risk associated with spiral tomography of the maxilla and mandible prior to endosseous implant treatment. *Eur J Oral Sci.* 1997;105:123-9.
95. Hohlweg-Majert B, Schön R, Schmelzeisen R, Gellrich NC, Schraamm A. Navigational maxillofacial surgery using virtual models. *World J Surg* 2005;29:1530-1538
96. Masutami Y, Dohi T, Yamame F, Iseki H et al. Augmented reality visualization system for intravascular neurosurgery. *Comput Aided Surg* 1998;3:239-47
97. Bastien S, Penchot B, Tangut A. Augmented reality in spine surgery: critical appraisal and status of development. *Stud Health Technol Inform* 2002;88:153-56

98. Blakwell M, Morgan F et al. Augmented reality and its future in orthopaedics. *Clin Ortho* 1998;354:111-22
99. Watzinger F, Wanschitz F, Wagner A, Enislidis G, Millesi W et al. Computed-aided navigation in secondary reconstruction of post-traumatic deformities of the zygoma. *J Cranio-Maxillofac Surg* 1997;25:198-202
100. Cohen M. Mandibular prognathism. *Am J Orthod* 1965;51:368-79
101. Henderson D. The assessment and management of bony deformities of the middle and lower face. *Br J Plast Surg* 1974;24:287-96
102. Kinnebrew MC, Hoffman DR, Carlton DM. Projecting the soft-tissue outcome of surgical and orthodontic manipulation of the maxillofacial skeleton. *Am J Orthod*. 1983 Dec;84:508-19
103. Power G, Breckon J, Sherriff M, McDonald F. Dolphin Imaging Software: an analysis of the accuracy of cephalometric digitization and orthognathic prediction. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2005 Sep;34:619-26
104. Moss JP, Grindrod SR, Linney AD, Arridge SR, James D. A computer system for the interactive planning and prediction of maxillofacial surgery. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1988;94:469-75
105. Xia JJ, Phillips CV, Gateno J, Teichgraeber JF, Christensen AM, Gliddon MJ, Lemoine JJ, Liebschner MA. Cost-effectiveness analysis for computer-aided surgical simulation in complex cranio-maxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg*. 2006;64:1780-4
106. Schlutes G, Gaggl A, Karcher H. Accuracy of cephalometric and video imaging program Dentofacial Planner Plus in orthognathic surgical planning. *Comput Aided Surg* 1998;3:108-14
107. Hing NH. The accuracy of computer generated prediction tracings. *J Oral Maxillofac Surg*. 1989;18:148-51
108. Donatsky O, Hillerup S, Bjorn-Jorgensen J, Jacobsen PU. Computerized cephalometric orthogathic surgical simulation prediction and postoperative evaluation of precision. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1992;21:199-203
109. Donatsky O, Born-Jorgensen J, Holmqvist-Larsen M, Hillerup S. Computerized cephalometric evaluation of orthognathic surgical precision and stability in relation to maxillary superior repositioning combined with mandibular

- advancement or setback. *J Oral Maxillofac Surg.* 1997;55:1071-9;discussion 1079-80.
110. Wang ZL, Teo JCM, Chui CK, Ong SH et al. Computational biomechanical modelling of the lumbar spine using marching-cubes surface smoothed finite element voxel meshing". *Computer Methods Programs Biomed* 2005;80:25-35
111. Bhatia SN, Sowray JH. A computer-aided design for orthognathic surgery. *Brit J Oral Maxillofac Surg* 1984;22:237-53
112. Syliangco ST, Sameshima GT, Kaminishi RM, Sinclair PM. Predicting soft tissue changes in mandibular advancement surgery: a comparison of two video imaging systems. *Angle Orthod* 1997;67:337-46.
113. Wagner A, Rasse M, Millesi W, Ewers R. Virtual Reality for Orthognathic Surgery : the augmented reality environment concept. *J Oral Maxillofac Surg* 1997;55:456-62
114. Motobashi N, Kuroda T. A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery. *Eur J Orthod.* 1999;21:263-74.
115. Mommaerts MY, Jans G, Sloten JV, Staels P, Van der Perre G, Gobin R. On the Assets of CAD Planning for Craniosynostosis Surgery. *J Craniofac Surg.* 2001 ;12:547-54
116. Soncul M, Bamber MA. Evaluation of facial soft tissue changes with optical surface scan after surgical correction of Class III deformities. *J Oral Maxillofac Surg* 2004;62:1331-40,
117. Hernández-Alfaro F, Mair D, Martí C, Biosca MJ. Planificación virtual y diseño de férulas CAD/CAM en cirugía Ortognática: ¿una nueva era?. *Rev Esp Ortod* 2006;36:363-70
118. O'Grady KF, Antonyshyn OM. Facial asymmetry: three-dimensional analysis using laser surface scanning. *Plast Reconstr Surg* 1999;104:928-37
119. Woldford LM, Hilliard FW, Dugan DJ. Surgical treatment objective: a systematic approach to the prediction tracing. St Louis: Mosby;1985.p.21-112
120. Anwar M, Harris M. Model surgery for orthognathic planning. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1990;28:393-7.
121. Bartko JJ. The intraclass correlation coefficient as a measure of reliability. *Psychol Rep* 1966;19:3-11.

122. Bell WH. Modern Practice in Orthognathic and Reconstructive Surgery. Philadelphia: WB Saunders Co;1992.p.36-92
123. Mischkowski RA, Zinser MJ, Kubler AC, Krug B, Seifert U, Zöller JE. Application of an augmented reality tool for maxillary positioning in orthognathic surgery. A feasibility study. J Cranio Maxillofac Surg 2006;34:478-83
124. Ricketts RM. Perspectives in the clinical application of cephalometrics. The first fifty years. Angle Orthod. 1981;51:115-50
125. Reyneke J.P. Essentials of Orthognathic Surgery. 1st Edition Carol Stream (IL): Quintessence Publishing Co,Inc; 2003.p.46-92
126. Reyneke JP, Evans WG. Surgical manipulation of the occlusal plane. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 1990;5:99-110
127. Techaler Tpaisarn P, Kuroda T. Three- dimensional computer-graphic demonstration of facial soft tissue changes in mandibular prognathic patients after mandibular sagittal ramus osteotomy. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 1998;13:217-25
128. Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH, Miani A Jr, Serrao G. A three- dimensional computerized mesh diagram analysis and its application in soft tissue facial morphometry. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1998;114:404-13
129. McCance AM, Moss JP, Wright WR, Linney AD, James DR. A three- dimensional soft tissue analysis of 16 skeletal class III patients following bimaxillary surgery. Br J Oral Maxillofac Surg 1992;30:221-32
130. Papadopoulos MA, Christou PK, Christou PK, Athanasiou AE, Boettcher P, Zeilhofer HF, Sader R, Papadopoulos NA. Three-dimensional reconstruction imaging. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2002;93:382-93
131. Olszewski R, Reychler H. Les limites de la chirurgie des modèles en chirurgie orthognathique: implications théoriques et pratiques. Rev Stomatol Chir Maxillofac 2004;105:165-69
132. Bryan DC, Hunt NP. Surgical accuracy in orthognathic surgery. Br J Oral Maxillofac Surg 1993;31:343
133. Hillerup S, Bjorn-Jorgensen, Donatsky O, Jacobsen PU. Precision of orthognathic surgery. A computerized cephalometric analysis of 27 patients. Int J Oral Maxillofac Surg. 1994 ;23:255-61.

134. Eckhardt CE, Cunningham SJ. How predictable is orthognathic surgery? *Eur J Orthod* 2004;26:303-9
135. Kiyak HA, Vitaliano PP, Crinean J. Patients expectations as predictors of orthognathic surgery outcomes. *Health Psychol* 1988;7:251-68
136. Subtenly JD. A longitudinal study of soft-tissue facial structures and their profile characteristics defined in relation to underlying skeletal structures. *Am J of Orthod* 1959;45:481-507
137. Upton PM, Sadowsky PL, Orth D et al. Evaluation of video imaging prediction in combined maxillary and mandibular orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997;112:656-65
138. Eales EA, Jones ML, Newton C, Sugar AW. The accuracy of computerised prediction of the soft tissue profile: a study of 25 patients treated by means of the Le Fort I osteotomy. *Int J Adult Orthod Orthog Surg* 1994;9:141-152
139. Loh S, Yow M. Computer prediction of hard tissue profiles in orthognathic surgery. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 2002;17:342-7
140. Watt RG, Daly B, Kay EJ. Prevention. Part 1: smoking cessation advice within the general dental practice. *Br Dent J.* 2003;194:665-8.
141. Rota MT, Poggi P, Boratto R. Human gingival fibroblast cytoskeleton is a target for volatile smoke components. *J Periodontol.* 2001;72:709-13.

11. ANEXO



UNIVERSITAT INTERNACIONAL DE CATALUNYA
Departament d'Odontologia

La Comisión Científica del Departamento de Odontología de la Universitat Internacional de Catalunya, CERTIFICA, que

El presente estudio de investigación, titulado: "Precisión en la predicción de resultados en Cirugía Ortognática mediante el programa informático Simplant 10.1. Estudio clínico prospectivo de validación del software", cuyo investigador principal es el alumno de Doctorado en Técnicas Clínicas y de Laboratorio en Odontología, D. Samir Carlos Aboul-Hosn Centenero, y cuyo tutor es el Dr. Federico Hernandez Alfaro,

Cumple los siguientes requisitos para llevarse a cabo:

-Aprobación del Comité de Ética del Departamento de Odontología, conforme se consideran garantizados los derechos del paciente, previa revisión del consentimiento informado y hoja de información al paciente.

-Aprobación del protocolo, conforme se adecúan los materiales y métodos a los objetivos previstos.

Para que así conste, lo firmo en Sant Cugat del Vallés, a 28 de septiembre de dos mil seis.

 Universitat Internacional
de Catalunya
Facultat d'Odontologia

Dr. Miquel Cortada Colomer
Director de la Comisión Científica



UNIVERSITAT INTERNACIONAL DE CATALUNYA
Departament d'Odontologia

La Comisión Científica del Departamento de Odontología de la Universitat Internacional de Catalunya, AUTORIZA, a que:

El alumno de Doctorado en Técnicas Clínicas y de Laboratorio en Odontología, D. Samir Carlos Aboul-Hosn Centenero, que está realizando el estudio de investigación, titulado: "Precisión en la predicción de resultados en Cirugía Ortognática mediante el programa informático Simplant 10.1. Estudio clínico prospectivo de validación del software", realizará el trabajo de campo en el Instituto de Cirugía Maxilofacial del Centro Médico Teknon, bajo la supervisión de su tutor, que es el Dr. Federico Hernandez Alfaro.

Para que así conste, lo firmo en Sant Cugat del Vallés, a 28 de septiembre de dos mil seis.



Dr. Miquel Cortada Colomer
Director de la Comisión Científica

