



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

**LA EVALUACION VIRTUAL DE LOS
SISTEMAS INFORMATICOS DE
CIRUGIA GUIADA EN
IMPLANTOLOGÍA ORAL**

Tesis Doctoral

Nuno Alexandre Oliveira

Sevilla, 2019

Sevilla, Mayo de 2019

EUGENIO VELASCO ORTEGA, Profesor Titular de Odontología Integrada de Adultos de la Facultad de Odontología y Director del Máster de Implantología Oral de la Universidad de Sevilla.

NUNO MATOS GARRIDO, Doctor en Odontología por la Universidad de Sevilla y Profesor del Máster de Implantología Oral de la Universidad de Sevilla.

CERTIFICAN:

Que D. NUNO ALEXANDRE OLIVEIRA, Licenciado en Odontología por la Universidad de Coimbra, ha realizado bajo nuestra tutela y dirección el trabajo titulado **La evaluación virtual de los sistemas informáticos de cirugía guiada en implantología oral** que consideramos satisfactorio como Tesis Doctoral.

Prof. E. VELASCO ORTEGA

Prof. N. MATOS GARRIDO

DEDICATORIA

A mis padres Graça y Fernando

A mi hermana Cátia

A mi mujer Filipa y mis hijas Lara e Lia

A Hugo y Maria Helena

A mi segunda familia de Guimarães

AGRADECIMIENTOS

A los Profesores EUGENIO VELASCO ORTEGA y NUNO MATOS GARRIDO de la Facultad de Odontología y del Máster de Implantología Oral de la Universidad de Sevilla, que generosamente compartieron su sabiduría, creatividad y empeño, sin los cuales la ejecución de este estudio doctoral no habría sido posible, y a quien agradezco la amistad, la confianza y disponibilidad.

A los profesores del Máster de Implantología Oral de la Facultad de Odontología de Sevilla, ANTONIO ESPAÑA LÓPEZ, ALVARO JIMÉNEZ GUERRA, ENRIQUE NUÑEZ MÁRQUEZ, IVÁN ORTIZ GARCÍA, JESUS PATO MOURELO y JESUS MORENO MUÑOZ, por la ayuda constante y recomendaciones.

A la Universidad de Sevilla, la institución que ha permitido continuar mi formación postgraduada en Implantología Oral y el Doctorado en Ciencias de la Salud , y que me hizo sentir siempre en casa.

A las empresas Galimplant, Nobel Biocare, Dentsply Sirona, Dental Wings y Nemotec que proporcionaran el software y los medios necesarios para la realización del presente estudio doctoral.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. DIAGNÓSTICO IMPLANTOLÓGICO DEL PACIENTE PARA CIRUGÍA GUIADA	2
1.1. Condicionantes anatómicos	3
1.1.1. Maxilar superior	3
1.1.2. Mandíbula	4
1.2. Medios diagnósticos complementarios	6
1.2.1. Tomografía axial computarizada	6
1.2.2. Tomografía computarizada de haz cónico	8
1.3. Variables que influyen en el diagnóstico	10
1.3.1. Estabilidad primaria	10
1.3.2. Densidad ósea	12
2. PLAN DE TRATAMIENTO EN CIRUGÍA GUIADA	13
2.1. Indicaciones	14
2.2. Tipos de cirugía guiada	16
3. FLUJO DE TRABAJO GENERAL Y SUS COMPONENTES	18
3.1. Paso 1. Diagnóstico y planificación del tratamiento	18
3.1.1. Examen clínico y diagnóstico radiográfico 2D	18
3.1.2. Construcción de modelos de estudio	18
3.1.3. Terminación de los tratamientos periodontales, endodónticos, y restaurativos	18
3.1.4. Elaboración de la prótesis provisional	18
3.1.5. Encerado diagnóstico	18
3.2. Paso 2. Elaboración de la férula radiológica	21
3.2.1. Selección del tipo de férula radiológica	21
3.2.2. Fabricación en laboratorio	22

3.2.3. Entrega y instrucciones al paciente	22
3.3. Paso 3. Escaneado TC/CBCT y conversión de los archivos digitales	22
3.3.1. Escaneado con férula radiológica	22
3.3.2. Conversión de los archivos digitales	24
3.3.3. Segmentación	24
3.4. Paso 4. diagnóstico 3D y planificación del tratamiento	25
3.4.1. Artefactos radiológicos	25
3.4.2. Dientes virtuales	25
3.4.3. Inserción virtual de los implantes	25
3.5. Paso 5. Elaboración de la férula quirúrgica	26
3.5.1. Selección del tipo de férula	26
3.5.2. Fabricación por estereolitografía	28
3.6. Paso 6. Cirugía para la colocación del implante	30
3.6.1. Adaptación de la férula quirúrgica	30
3.6.2. Colocación del implante utilizando una férula quirúrgica	31
3.6.3. Aumento y regeneración ósea si indicado	32
3.6.4. Colocación de la prótesis provisional en casos de carga inmediata	32
3.7. Paso 7. Prótesis final y tratamiento de soporte	32
3.7.1. Colocación de la prótesis definitiva	32
3.7.2. Cuidado y mantenimiento de soporte	33
4. EL PROGRAMA INFORMÁTICO EN LA CIRUGÍA GUIADA ASISTIDA POR ORDENADOR	34
4.1. Manipulación de datos en la planificación quirúrgica en cirugía guiada	35
4.1.1. Principio de orientación y seccionamiento transversal	36
4.1.2. Reconstrucciones panorámicas	38
4.1.3. Herramientas de segmentación	40

4.1.4. Herramientas de identificación del nervio dentario inferior	41
4.1.5. Planificación quirúrgica guiada por implantes	42
4.1.6. Consideraciones protésicas para la planificación quirúrgica	44
4.2. La utilidad de las herramientas virtuales	45
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	49
MATERIAL Y METODOS	53
RESULTADOS	62
1.GALIMPLANT 3D EXACTO	63
1.1.Descripción	63
1.2. Flujo de trabajo	64
2. DTX STUDIO IMPLANT	66
2.1.Descripción	66
2.2. Flujo de trabajo	69
3. CODIAGNOSTIX	72
3.1.Descripción	72
3.2. Flujo de trabajo	75
4. NEMOSCAN	77
4.1.Descripción	77
4.2. Flujo de trabajo	82
5. SIMPLANT PRO	84
5.1.Descripción	84
5.2. Flujo de trabajo	88
6. EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD ÓSEA	90

DISCUSION	98
1.FÉRULAS QUIRÚRGICAS PARA PACIENTES EDÉNTULOS	100
2. PRECISIÓN DE LAS FÉRULAS QUIRÚRGICAS	104
3. TASA DE SUPERVIVENCIA DE LOS IMPLANTES INSERTADOS CON CIRUGÍA GUIADA	108
4. EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD ÓSEA	111
5. ANÁLISIS DE OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE TRABAJO DIGITAL	113
6. VALIDACIÓN DE LOS DATOS RECIBIDOS Y GENERADOS	116
CONCLUSIONES	118
BIBLIOGRAFIA	120

INTRODUCCION

1.DIAGNÓSTICO IMPLANTOLÓGICO DEL PACIENTE PARA CIRUGÍA GUIADA

La colocación de implantes mediante la técnica de cirugía guiada asistida por ordenador es una técnica ampliamente utilizada en la actualidad. La búsqueda por una mayor precisión quirúrgica, la reducción de los tiempos de tratamiento y la satisfacción del paciente son objetivos cada vez más presentes. La colocación de implantes mediante una técnica de cirugía guiada ha incrementado la precisión de la inserción de los implantes y ha reducido la incidencia de localizaciones no favorables permitiendo una optimización del diseño final de la prótesis y una mejoría de los resultados estéticos.

La creación de un protocolo quirúrgico que permita un enfoque preciso y seguro para la rehabilitación implantológica es un activo para el éxito de la cirugía. Toda la demanda en busca de mejores resultados clínicos, con tasas de éxito y supervivencia elevadas de los implantes dentales, tiene como principal objetivo proporcionar a nuestros pacientes la mejor rehabilitación con el mínimo de fallos posibles. Para ello, la evaluación previa del paciente a la colocación de implantes, permitirá el desarrollo de una historia clínica completa y precisa, que en su tiempo será la base de un plan tratamiento apropiado.

1.1.CONDICIONANTES ANATÓMICOS

Actualmente, con el aumento en el suministro de dispositivos tecnológicos (clínicos e informáticos), el diagnóstico de las condiciones anatómicas para la colocación de los implantes orales se ha vuelto más rápido y exacto. Los medios radiológicos en implantología y las aplicaciones de software permiten al clínico crear estudios diagnósticos de

INTRODUCCION

imágenes tridimensionales altamente precisos, evaluados en todos los planos del espacio¹.

Para apreciar completamente los resultados de diagnóstico es fundamental entender las características del hueso, y al mismo tiempo las condiciones anatómicas involucradas. Su forma y estructura depende de múltiples parámetros como la carga, la edad, la actividad física, el metabolismo hormonal, la dieta y los factores ambientales^{1,2}.

La presión es un factor crítico que afecta la densidad del tejido óseo. Esta puede variar no sólo con los factores metabólicos o dietéticos, sino también con el tono de los músculos masticatorios, la oclusión y la postura. En la implantología oral estos conceptos pueden ser aplicados a la biología de la interfaz hueso-implante y a su respuesta a cargas masticadoras. Se debe realizar una evaluación precisa del tejido óseo elegido para colocar el implante¹.

Ante un paciente edentulo hay cambios anatómicos que considerar. Al enfocar nuestra atención en la mandíbula y en el hueso maxilar, las siguientes estructuras deberán ser consideradas:

1.1.1. Maxilar superior. El hueso maxilar es un hueso neumático, que contiene dentro el seno maxilar, la mayor de las cavidades conectadas a las cavidades nasales. El seno maxilar es el obstáculo anatómico más común a la inserción de implantes dentales en las regiones maxilares posteriores. El proceso natural de neumatización de la cavidad sinusal y la atrofia ósea postextracción limitan la disponibilidad de hueso alveolar subsinusal tanto en altura como en anchura. La cavidad del seno maxilar se expande al largo de toda la vida del individuo, debido a los procesos de resorción ósea, como la osteoporosis y la reducción de las fuerzas masticadoras. Con un volumen promedio normal de aproximadamente 11 a 12 cm³, pueden llegar a valores como 25 a 30 cm³ y tienden a extenderse al largo del hueso

INTRODUCCION

envolvente. Algunos senos paranasales contienen tabiques internos o placas óseas (generalmente incompletas) que delimitan cavidades más pequeñas. La presencia de septos óseos debe ser absolutamente identificada cuando se planea un procedimiento de aumento del seno, pues puede ser un obstáculo para los procedimientos quirúrgicos, pero también se puede utilizar favorablemente durante los procedimientos de aumento de los senos paranasales ^{1,3}.

1.1.2. **Mandíbula.** La línea milohioidea mandibular es la superficie interna del cuerpo mandibular que se observa en la región medial, a partir del tercer molar, con una cresta ósea bastante áspera, que se dirige oblicuamente, hacia abajo y hacia delante junto con el trayecto del nervio y vasos sublinguales. Si no se reconoce a través de imágenes de diagnóstico bidimensionales como las proporcionadas por radiología convencional, pueden originar complicaciones graves de sangrado. Durante la preparación del lecho del implante, la osteotomía puede entrar en contacto con el hueso cortical lingual. Si la fresa perfora la línea milohioidea, puede penetrar en la región sublingual, que es muy vascularizada, causando un episodio hemorrágico potencialmente peligroso. La sangría abundante puede ocurrir y dar lugar a la elevación del piso de la boca, obstrucción de la vía aérea, y taponamiento mediastínico, con complicaciones serias, debido a la proximidad de la arteria sublingual ¹.

El canal mandibular y el foramen mentoniano. El tamaño del canal mandibular es de aproximadamente 4 mm (en su origen), luego disminuye progresivamente a 2mm. A lo largo de su curso describe una curva, cóncava anterior y superior. Se mueve lateralmente hacia el hueso cortical bucal, permaneciendo siempre por debajo de los alveolos dentales, con los que se comunica a través de pequeños orificios en el ápice de cada uno. El segmento posterior, en su entrada, tiene un curso oblicuo hacia abajo y

INTRODUCCION

hacia adelante y se sitúa en la región de la rama mandibular. El segmento medio, aproximadamente horizontal, está situado en la región molar, muy cerca de la tabla cortical lingual del cuerpo mandibular. El tercer segmento, el segmento anterior, comienza a nivel del ápice del segundo premolar, con una dirección anterosuperior y latero-bucal. Este tercer segmento da origen a una rama corta del canal mentoniano, terminando en el foramen mentoniano, localizado en la zona del segundo premolar. Se encoge y continúa hacia adelante, permaneciendo por debajo de los ápices dentales, en la región incisiva, convirtiéndose así en un canal delgado y largo, el canal incisivo ^{1,4}. El canal alveolar inferior contiene el nervio alveolar inferior, colateral a la rama postero-medial del nervio trigémino de la mandíbula.

Con la pérdida de los dientes, la función masticatoria disminuye y comienza la resorción del hueso alveolar. En el maxilar superior, la resorción del hueso es principalmente horizontal, afectando el grosor del hueso y sobretodo su componente vestibular, con una dirección de reabsorción centrípeta. En la mandíbula, la reabsorción ósea depende del sector: anteriormente ocurre una reabsorción horizontal es más pronunciada, mientras que posteriormente la reabsorción vertical es más relevante. Estos patrones de resorción del hueso producen alteraciones en la relación intermaxilar, conduciendo a un prognatismo progresivo, una maloclusión de clase III esquelética con un importante aumento de la distancia entre las dos arcadas, produciendo un aspecto envejecido.

La densidad ósea también disminuye considerablemente en ambas las arcadas, porque sin función biológica la calidad del hueso resultante es menor. Así, el grado de atrofia y densidad del hueso puede variar muy substancialmente, incluso en el mismo individuo, dependiendo del segmento de hueso considerado⁵.

INTRODUCCION

Varios factores pueden acelerar el proceso de reabsorción ósea. De hecho, una dieta pobre en calcio y vitamina D, especialmente en mujeres postmenopáusicas, o el consumo de grandes cantidades de cafeína contribuyen para la resorción del hueso. Además, factores locales, tales como la enfermedad periodontal severa, la presencia de una prótesis mal adaptada y el abuso de tabaco pueden causar problemas⁶.

La reabsorción ósea origina un cambio significativo en los tejidos blandos. La encía adherida tiende a disminuir y la inserción de los músculos del pavimento de la boca se vuelve más superficial. Además, en el maxilar inferior, el nervio alveolar inferior se vuelve más superficial. En la arcada superior el paladar asume una forma plana, los vestíbulos se convierten progresivamente más superficiales, y el seno maxilar aumenta considerablemente de tamaño. Estos cambios determinan la disminución del tono de los músculos labiales, resultando en una disminución de la comisura labial, dañando la estética facial de las personas afectadas por la atrofia ósea^{1,7}.

1.2. MEDIOS DE DIAGNÓSTICO COMPLEMENTARIOS

La capacidad de evaluar la anatomía ósea de los pacientes ha aumentado exponencialmente con la mejoría de los aparatos de proyección tridimensionales de imagen, de la tomografía computarizada (TC), de la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), del aumento de la capacidad de los ordenadores personales y del desarrollo de software interactivo de planificación^{1,8}.

1.2.1. Tomografía axial computarizada

La tomografía axial computarizada (TC) es un método de diagnóstico radiológico más preciso que la ortopantomografía, y

INTRODUCCION

especialmente útil en los casos de atrofia severa de los maxilares ⁹. Este medio de diagnóstico permite ofrece al clínico una imagen real, con mayor detalle anatómico, y una visualización tridimensional necesaria para obtener un diagnóstico correcto, resultando en una mayor seguridad quirúrgica y una mejor posición de los implantes. La TC proporciona un grado elevado de exactitud con una magnificación mínima de los maxilares¹⁰.

Las radiografías panorámicas o periapicales son menos eficientes para determinar la densidad ósea ya que las tablas óseas corticales oscurecen a menudo el patrón trabecular del hueso. La TC permite una mejor evaluación de la estructura y la densidad de los huesos de la mandíbula y del maxilar ¹¹.

Los movimientos del paciente, la saturación de los píxeles de las imágenes, la posición de la mandíbula en el momento de la adquisición de la tomografía, pueden influir en la calidad y precisión de las imágenes transversales creadas. Esta distorsión puede producir resultados adversos en la cirugía de implantes, como por ejemplo una incorrecta colocación del implante, resultando en efectos secundarios biológicos, biomecánicos y estéticos¹². Un plan de adquisición preciso es fundamental para obtener imágenes transversales igualmente precisas y sin distorsión, formateadas en el software de planificación. La utilización de un software adecuado permite obtener mediciones virtuales con muy poca distorsión, independientemente de la posición de los maxilares¹².

Dentascan ® es un software de procesamiento de imágenes que se puede utilizar en este tipo de tomografías. Varias empresas producen este software bajo diferentes nombres genéricos¹¹. En un caso clínico maxilar, el procedimiento de escaneo se inicia con el paciente colocado en la posición supina, y su cabeza está orientada de manera que el paladar duro

INTRODUCCION

es casi paralelo al haz del dispositivo, para que la adquisición del TC ocurra sin angulaciones. Se verifica si el plano de escaneado es paralelo a la cresta alveolar. En un caso clínico mandibular, la angulación del plano es a lo largo del borde inferior de la mandíbula o del plano oclusal mandibular. Se adquieren imágenes axiales y luego estas imágenes se procesan en el programa informático del escáner de TC. En este aparato el paciente debe colocarse de manera que el plano de escaneado sea vertical mientras que en el escáner TCHC el plano de escaneado debe ser horizontal. La selección adecuada del plano de reduce los artefactos metálicos. Siempre es mejor escanear paralelamente al metal para minimizar la presencia de artefactos ¹³. A continuación, el radiólogo seleccionará una imagen axial que muestre bien la estructura ósea del maxilar o de la mandíbula al nivel de las raíces de los dientes, permitiendo de seguida trazar una curva panorámica maxilar o mandibular ¹¹.

Las imágenes se pueden reproducir en películas, y quedan disponibles a la escala real, sin aumento. Estas adquisiciones tomográficas también están disponibles en un archivo de datos DICOM, para una visualización en cualquier computadora ya que estos archivos se pueden analizar en un lector de archivos DICOM ¹⁰⁻¹¹.

1.2.2. Tomografía computarizada de haz cónico

La adquisición de una imagen radiográfica preoperatoria debe considerar una exposición a la radiación mínima, que resulten en una imagen de calidad diagnóstica aceptable. Esto se conoce como el concepto ALARA (“as low as reasonably achievable”, tan bajo como razonablemente alcanzable). Es importante enfatizar que el juicio profesional en la elección de la imagen apropiada puede variar de acuerdo

INTRODUCCION

con la habilidad, experiencia, conocimiento y capacidad de cada individuo^{14,15,16}.

Con la aparición de la tomografía computarizada de haz cónico (en inglés CBCT), se ha revolucionado el diagnóstico en la implantología, y también en el tratamiento con la técnica de cirugía guiada asistida por ordenador^{10,17}. Existen varios programas informáticos que utilizan los datos radiológicos de la CBCT.

En comparación con la TC convencional, la CBCT reduce de forma importante la exposición a la radiación¹⁷, presentando una mejor calidad de las imágenes. Permite al clínico generar múltiples cortes tomográficos en diversos planos de una región anatómica que se pretenda estudiar, utilizando un haz de rayo rotacional en forma cónica, y mediante una serie de algoritmos matemáticos, obtener múltiples proyecciones con una sólo rotación, haciendo de esta forma la reconstrucción de las estructuras anatómicas en una imagen 3D¹⁰. En combinación con el software de planificación de implantes, el uso de imágenes de CBCT permite planificar virtualmente la posición óptima de un implante con respecto a las estructuras anatómicas vecinas y las futuras necesidades protésicas¹⁷.

La adquisición de la CBCT permite que el paciente pueda estar sentado o de pie, y la fuente de rayos rota 360° alrededor de su cabeza, obteniendo múltiples imágenes. Seguidamente el programa informático archiva todas las imágenes, que se componen de unidades básicas digitales (voxels). Las imágenes presentan un mayor grado de precisión que el TC, y tienen un menor coste económico¹⁰.

La principal limitación del CBCT es (semejante al TC) la menor capacidad de identificación de los tejidos blandos (músculos, glándulas salivares y lesiones patológicas)¹⁰. El paciente debe estar inmóvil durante la adquisición para alcanzar una buena imagen. De lo contrario, la imagen

INTRODUCCION

puede mostrar defectos. También habrá artefactos en la imagen alrededor de las prótesis metálicas, dificultando la evaluación de los dientes con restauraciones de este tipo¹¹. Sin embargo, la utilización de imágenes de CBCT puede ser muy útil en la localización de estructuras anatómicas importantes para la planificación de la técnica quirúrgica, como por ejemplo los vasos sanguíneos de la pared lateral del seno maxilar, la presencia de septos intrasinales, vasos sanguíneos presentes en la sínfisis mandibular, y visualización de la posición del conducto del nervio dentario inferior¹⁰. En el maxilar superior, la CBCT puede revelar un reborde alveolar insuficiente para la colocación de los implantes de 4mm de diámetro. Esta información sugerirá la necesidad de realizar técnicas de aumento de volumen óseo, de expansión ósea con osteotomías o la inserción de implantes de menor diámetro¹⁰.

1.3.VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL DIAGNÓSTICO

1.3.1.Estabilidad primaria

La estabilidad primaria de los implantes es un factor primordial para obtener una rehabilitación exitosa, y consiste en la ausencia de movilidad del implante en el lecho óseo tras su inserción^{10,18,19}. La estabilidad inicial del implante es determinada principalmente por la calidad (proporción entre hueso cortical y trabecular) y cantidad del hueso alveolar. De acuerdo con Gill et al.²⁰, se encontró una correlación positiva entre la estabilidad primaria y el grosor cortical del hueso artificial, en un estudio in vitro. Los datos histológicos obtenidos de las zonas de los implantes demostraron una buena calidad del hueso alrededor de estos implantes, así como un buen contacto hueso-implante²¹. En la implantología oral se asume que la calidad ósea es equivalente a la densidad ósea¹⁰.

La estabilidad primaria en la cirugía guiada debe ser cuidadosamente

INTRODUCCION

alcanzada a través de un fresado adecuado o usando osteótomos, una vez que la densidad ósea varía de acuerdo con la área del maxilar o de la mandíbula ^{10,22}. Además de la estabilidad primaria, el número de implantes puede influir en la superficie funcional total que recibe las cargas oclusales, lo que podría compensar una menor densidad ósea y controlar la dirección de las fuerzas vestibulares desfavorables. Así, una mayor longitud y diámetro de los implantes, utilizados en la rehabilitación, aumentan la superficie de contacto entre el hueso y el implante, factor muy importante en los protocolos de carga inmediata, ya que la función oclusal protésica se manifiesta antes del establecimiento de una conexión celular entre el hueso y la superficie del implante.

Otros factores importantes que afectan el éxito de la técnica de cirugía guiada son la necesidad de la presencia de un adecuado volumen y arquitectura óseos que evite la aparición de dehiscencias y de fenestraciones¹⁰. Es importante el control del hueso vestibular disponible, una vez que los desvíos vestibulo-apicales son los más frecuentes y de mayor magnitud. Un estudio clínico de De Santis et al.²³ con una tasa de supervivencia de 100% en alvéolos postextracción, muestra una técnica que crea dos férulas quirúrgicas, contornando así la pérdida de referencias anatómicas (presentes en la primera férula) después de la extracción de los dientes que serán sustituidos por implantes^{10,24}.

En un estudio *in vitro* de Rungcharassaeng et al.¹⁶ los autores indican algunos factores decisivos para el éxito de la técnica de cirugía guiada. El control de la posición vertical del implante presenta un riesgo mínimo, ya que los errores axiales mas frecuentes ocurren en la dirección coronaria. En este estudio, 95% de los implantes fueron colocados más en dirección coronal que la posición planificada. Debido a que la osteotomía y la colocación del implante son controlados por el contacto entre el borde del

INTRODUCCION

tope de la fresa y lo del portaimplante, y el borde de lo conducto metálico de la férula quirúrgica, una desviación angular puede causar el contacto prematuro de las superficies, resultando en una colocación más coronaria del implante que la planificada. Esta diferencia puede afectar el perfil de emergencia protésico^{10,16}.

1.3.2. Densidad ósea

Las condiciones locales específicas durante una cirugía guiada de implantes, como la densidad ósea de la zona elegida, pueden cambiar las dimensiones previstas de la osteotomía, debido a una mala evaluación de los exámenes de diagnóstico y percibidas objetivamente sólo durante la cirugía¹⁴.

La densidad del hueso receptor tiene un papel importante en la predictibilidad del éxito de la rehabilitación. Un implante colocado en un hueso compacto tiene una mayor probabilidad de obtener estabilidad primaria y soportar las fuerzas inmediatas iniciales. Se puede encontrar este tipo de hueso en la región interforamina de la mandíbula. El hueso cortical laminar sana con poca formación de hueso nuevo, originando hueso mas denso. Su porosidad fina, no superior al 10% del total , favorece una mejor interconexión mecánica en comparación con el hueso trabecular, lo que puede llegar a 80-95% de porosidad²¹.

La TC permite el análisis de la densidad del hueso y su cuantificación en unidades Hounsfield (HU). La densidad ósea se sitúa entre los 100 y los 1900 HU. Como referencia comparativa, la densidad del aire es de -1000HU, la del agua es 0 HU y la de los metales es de + 3000 HU. La densidad ósea de la mandíbula en su región anterior es de aproximadamente 850 HU, mientras que la densidad de las zonas posteriores maxilares se sitúa entre 500 y 850 HU. Los programas

INTRODUCCION

informáticos, por la relación ofrecida a través del TC entre los valores de HU y las varias áreas óseas del maxilar, transforman esta información mapeando la densidad del hueso en las localizaciones de interés para colocar los implantes¹⁰.

En general, los valores de la densidad ósea medida en una CBCT se corresponden con los obtenidos por una TC. Sin embargo, podrán existir dificultades en la compatibilidad entre los valores de los dos sistemas. La TC presenta valores constantes de HU, mientras que los valores de la CBCT dependen del tipo de sistema utilizado, y estos valores no se corresponden exactamente con los de la TC, una vez que son menos elevados, representando entre 45-60% de los valores de la CBCT¹⁰. Un reciente estudio demuestra que se puede conseguir una correlación lineal que permite convertir las unidades HU obtenidas por la CBCT en las correspondientes HU del TC. Se utiliza una ecuación de regresión que es valor HU de TC: $0,67 \times \text{valores HU CBCT} - 171,80$. Significa que 346,1 HU de la TC se corresponden con $0,67 \times 773 \text{ HU de la CBCT} - 171,80$ ¹⁰.

2. PLAN DE TRATAMIENTO EN CIRUGÍA GUIADA

La colocación de implantes a través de la técnica convencional presenta muchas dificultades: el movimiento del paciente durante la cirugía, la necesidad de usar una cantidad elevada de anestesia local por el aumento del tiempo necesario para terminar la cirugía, una visualización disminuida del campo operatorio, la transferencia mental a veces difícil de lo examen radiográfico bidimensional al ambiente quirúrgico tridimensional, y las limitaciones protésicas que un caso clínico puede ganar por una mala colocación del implante. Así, durante un período de tiempo limitado y con una visión restringida, el cirujano tiene que tomar numerosas decisiones mientras que trata un paciente consciente, bajo

INTRODUCCION

condiciones asépticas. Por lo tanto, una planificación preoperatoria cuidadosa del número de implantes que se colocarán, su tamaño, su posición, y su inclinación liberarán la mente del cirujano, permitiendo concentrarse en el paciente y en los tejidos que maneja^{25,26}.

2.1.INDICACIONES

La utilización de la técnica de cirugía guiada asistida por ordenador permite de una forma práctica incluir la prótesis final como factor de decisión en la planificación de la colocación de los implantes. Virtualmente y con el uso de un software de planificación, se puede optimizar su ubicación antes de la cirugía²⁷. Así, los implantes pueden ser planeados para apoyar una prótesis que proporcione los requisitos biológicos, funcionales y estéticos ideales y al mismo tiempo respetar la anatomía maxilar o mandíbular. Esta técnica puede, por supuesto, contribuir para un éxito a largo plazo de la rehabilitación con estos implantes, aunque lamentablemente no están disponibles en este momento datos bibliográficos a largo plazo para demostrar esta afirmación. Una revisión sistemática de Tahmaseb et al.²⁸ en 2014 indicó una tasa media de fracaso de 2,7%, utilizando la técnica de cirugía guiada y después de un período de seguimiento de al menos 12 meses²⁸.

Además, se puede prever la necesidad de regeneración ósea, así como de modificaciones protésicas (p. ej., la utilización de pilares angulados). De este modo es más fácil conseguir un resultado estético predecible, una vez que las posiciones pre planeadas del implante se transfieren de una forma más precisa al ambiente quirúrgico²⁶. Si la planificación se discute entre el cirujano y el prostodoncista, una mejor comunicación entre ellos puede ser alcanzada²⁶.

INTRODUCCION

La duración de una intervención quirúrgica puede influir negativamente en la morbilidad del paciente. Arisan et al.²⁹ en 2010 compararon la duración de la colocación del implante en mandíbulas completamente edéntulas (una cirugía guiada sin colgajo versus una cirugía guiada con colgajo versus una cirugía convencional) y reportaron que la cirugía sin colgajo tomó la mitad del tiempo de las otras dos cirugías (24 min. en la segunda vs. más de 60 min en la tercera). En otro ensayo, los mismos investigadores compararon la cirugía convencional (n=29) con la cirugía guiada por ordenador (n=34) en mandíbulas totalmente edéntulas³⁰, y reportaron de nuevo una reducción significativa en el tiempo quirúrgico para la opción guiada (63 vs 33 min, respectivamente).

La colocación guiada del implante también facilita los tratamientos que implican la confección de una restauración inmediata⁹. Incluso permite el uso de una restauración prefabricada que se puede colocar inmediatamente después de la cirugía, mejorando la satisfacción del paciente, así como su comodidad, función, y estética³¹. La aplicación de restauraciones prefabricadas está asociada a tasas de supervivencia aceptables de los implantes, que oscilan entre el 91% y el 100%.

Es interesante saber si la cirugía guiada se puede emplear como alternativa al aumento óseo. Lamentablemente, sólo un artículo aborda esta cuestión. Fortin et al.³² han utilizado la técnica de cirugía guiada en casos de pacientes parcialmente edéntulos con el maxilar seriamente reabsorbido y han divulgado una tasa de supervivencia de los implantes de 98% a los 4 años, sin cualquier procedimiento del aumento. Hoy en día no podemos afirmar que la cirugía guiada se puede utilizar como una alternativa para los procedimientos de aumento²⁶.

La cirugía guiada representa una alternativa de tratamiento excelente para pacientes con cantidad ósea satisfactoria para la inserción de

INTRODUCCION

implantes, en pacientes completamente edentulos en el maxilar o en la mandíbula³³. Es la mejor opción de tratamiento para el paciente con condiciones médicas comprometidas, como la reconstrucción mandibular después de una resección oncológica, o pacientes geriátricos. Aunque la cirugía sin colgajo es ventajosa para la colocación del implante, requiere tejido blando suficiente y una cantidad ósea adecuada. Para los casos con una encía muy delgada, la cirugía guiada es útil, pero cuando es asociada a una técnica con colgajo.

El éxito de una prótesis prefabricada de carga inmediata depende de la exactitud de todos los pasos clínicos y laboratoriales implicados en la planificación virtual^{26,27}. El éxito final es influenciado por el mantenimiento de la prótesis inmediata durante el período de cicatrización hasta la colocación de la prótesis definitiva³⁴. El uso solamente de la planificación asistida por ordenador sin hacer cirugía guiada podrá también ser beneficioso para el paciente y el clínico²⁶.

2.2.TIPOS DE CIRUGÍA GUIADA

Aunque el beneficio clínico de la cirugía guiada es cuestionable para algunos autores, existe un consenso general sobre sus ventajas, como la posibilidad de hacer una planificación quirúrgica virtual, el procedimiento quirúrgico facilitado, el menor tiempo de intervención y la menor morbilidad³⁵.

Los distintos sistemas de cirugía guiada incorporan la planificación de la colocación del implante, utilizando una variedad de herramientas de software³⁵.

Jung y cols¹⁷ han categorizado muchos de estos sistemas en estáticos y dinámicos. Los sistemas estáticos son aquellos que comunican las posiciones predeterminadas de los implantes al campo operatorio usando

INTRODUCCION

férulas quirúrgicas, mientras los sistemas dinámicos comunican las posiciones de los implantes seleccionados al campo operatorio con herramientas de imagen visuales en un monitor de un ordenador, en lugar de férulas intraorales rígidas³⁶. Los sistemas dinámicos incluyen la navegación quirúrgica y las tecnologías de navegación asistida por ordenador, permitiendo al cirujano alterar el procedimiento quirúrgico y la posición del implante en tiempo real, utilizando la información anatómica disponible del plan preoperatorio y una TC o CBCT ²⁶. Una vez que el cirujano puede ver una representación 3D del fresado en relación con la anatomía del paciente durante la cirugía, las modificaciones se pueden lograr con más facilidad. En esencia, el enfoque dinámico proporciona una guía quirúrgica virtual que puede ser alterada según las condiciones encontradas durante la cirugía.

En su revisión sistemática¹⁷, Jung afirmó que los sistemas estáticos tienen la tendencia a ser más precisos que los sistemas dinámicos. Sin embargo, la mayoría de los artículos publicados sobre cirugía dinámica han sido sobretodo estudios clínicos, mientras que la mayoría de los protocolos estáticos estudiados han sido preclínicos (en modelos o en cadáver), donde se pueden realizar mediciones más precisas²⁸. La mayor precisión de estos últimos estudios se puede explicar por el mejor acceso, el mejor control visual del eje de la osteotomía, la falta de movimiento en el cadáver, y la ausencia de saliva o sangre en los modelos preclínicos. En los sistemas dinámicos, la osteotomía y la inserción del implante se pueden alterar durante la cirugía. Así la osteotomía no tiene ninguna otra férula quirúrgica que la visión del cirujano en el modelo virtual, dándose la capacidad de elegir la posición del implante basada en la evaluación de la anatomía del lecho implantar, en tiempo real²⁶.

INTRODUCCION

Los diversos sistemas de cirugía guiada por ordenador presentan distintas características, como por ejemplo el diseño de las fresas utilizadas en la osteotomía. Algunos sistemas tienen fresas con topes y otros sistemas tienen fresas con líneas indicadoras, para controlar la profundidad del fresado. Algunos sistemas utilizan, para el mismo paciente, más de una férula quirúrgica, con conductos metálicos de un diámetro creciente, mientras que otros sistemas usan una sola férula quirúrgica, y utilizan en los conductos metálicos las guías de fresa de diámetros diferentes. Algunos sistemas permiten una inserción totalmente guiada del implante, mientras que otros sistemas, su férula quirúrgica sólo sirve para que la fresa piloto guiada oriente la dirección del fresado. A continuación la férula es removida y la inserción de los implantes se procede de una manera convencional^{26,38}.

No hay diferencias significativas en la precisión de la técnica de cirugía guiada en la mandíbula en comparación con el maxilar^{28,26}. La importancia de una desviación de la precisión de esta técnica depende de las condiciones anatómicas de la zona elegida para operar (el volumen óseo disponible, la presencia de estructuras neurológicas que tienen que ser preservadas), de la distancia entre los implantes y los dientes, y de la configuración de la futura rehabilitación protésica. La bibliografía existente sobre este tema reporta que, genéricamente, es aceptable una desviación en el error de precisión de 1,5 mm, un valor menor que lo de la cirugía no guiada²⁶.

Estas variaciones hacen con que sea extremadamente difícil hacer una comparación clara entre los diferentes sistemas de cirugía guiada. Por esta razón, una descripción de las características de cada sistema puede ser beneficioso para evaluar las diferencias, ventajas y inconvenientes de cada uno dellos²⁸.

3. FLUJO DE TRABAJO GENERAL Y SUS COMPONENTES

En general, se pueden considerar 7 pasos fundamentales en el flujo de trabajo para la técnica de cirugía guiada ³⁹.

3.1.PASO1.DIAGNÓSTICO Y PLANIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO

3.1.1.Examen clínico y diagnóstico radiográfico 2D

Un paciente debe ser considerado apto para realizar una cirugía guiada solamente después de una evaluación de su historia clínica, una examinación clínica cuidadosa y de la finalización de cualquier tratamiento odontológico básico ²⁶.

3.1.2.Construcción de modelos de estudio

Los escáneres ópticos intraorales fueron introducidos hace más de 30 años en la práctica clínica y han mejorado dramáticamente en los últimos años su precisión, fiabilidad y facilidad de uso⁴⁰. Los modelos digitales producidos han demostrado ser tan fiables como los modelos de escayola, dependiendo esa característica del grado de precisión del escáner y de los algoritmos matemáticos utilizados para crear el modelo digital. Una muestra de los actuales escáneres disponibles en el mercado ha mostrado que su precisión puede variar entre 6,9 y 45,2 μm , presentando los escáneres estudiados niveles de precisión similares. Estos escáneres también han demostrado tener capacidad para adquirir y procesar los modelos tridimensionales de escayola de una manera práctica^{40 41}.

3.1.3.Terminación de los tratamientos periodontales, endodónticos, y restaurativos

3.1.4.Elaboración de la prótesis provisional

3.1.5.Encerado diagnóstico

INTRODUCCION

Una vez realizada la adquisición de las imágenes radiográficas de diagnóstico, uno punto crítico para la planificación y la ejecución del tratamiento es el encerado de diagnóstico. Esto permite la creación de una herramienta de comunicación tridimensional que guía la planificación y la colocación de implantes orientados según una posterior rehabilitación protésica. Usando un software de laboratorio dental, estos encerados pueden ser planeados virtualmente ⁴², permitiendo al clínico y al paciente visualizar el caso antes del inicio del tratamiento y hacer cualquier ajuste a la forma, tamaño o morfología del diente, usando las herramientas disponibles en el software. Una vez obtenido el diseño final, el encerado se puede fabricar digitalmente ⁴¹.

El encerado de diagnóstico también se puede fabricar en un laboratorio. Esto se puede lograr para un solo diente, un arco dental completo, o una reconstrucción completa de la boca. Las impresiones de alginato o silicona se vierten en escayola y se entregan al laboratorio dental con una mordida, para su montaje con o sin arco facial, dependiendo de las necesidades del caso. Se fabrican de acuerdo con el resultado protésico deseado⁴³. A continuación, se coloca en un escáner óptico de mesa para digitalización y su uso posterior en el software del ordenador⁴⁰. Algunos softwares permiten realizar una articulación virtual de los modelos similar al uso de un articulador convencional⁴⁴.

El encerado puede ser útil para la técnica de doble escaneado, aplicable también en pacientes parcialmente edentulos. En este tipo de pacientes, un encerado digital computarizado o un escaneado digital de un encerado de laboratorio se utiliza generalmente para delinear la estructura protésica ideal⁴². Un beneficio adicional podrá resultar de la superposición de los datos obtenidos del escáner (los de los dientes y de los tejidos blandos), con los datos obtenidos del CBCT. De esta manera es posible

INTRODUCCION

visualizar la anatomía de los tejidos duros y blandos en simultáneo y poder hacer una segmentación más correcta en los pasos siguientes del plan de tratamiento.⁴⁴.

3.2. PASO 2. ELABORACION DE LA FÉRULA RADIOLÓGICA

3.2.1. Selección del tipo de férula radiológica

Una prótesis estándar en resina tiene una densidad similar a la de los tejidos blandos circundantes, y es difícil segmentarla de las imágenes del TC. Por lo tanto, muchas veces hay que preparar una prótesis especial para escanear, que es una copia de la prótesis del paciente. Se utiliza en su confección un material radiopaco, que será visible en el archivo DICOM, proporcionando un enlace entre la posición deseada del diente y el hueso subyacente. Los dientes se pueden crear con una concentración más alta de materiales radiopacos si es deseada una localización intraoral específica.^{26,44}

Cuando se utiliza una prótesis mucosoportada para hacer un escaneado, es crucial su ajuste óptimo a los tejidos blandos de lo paciente. Esto es especialmente importante si usamos férulas mucosoportadas en la cirugía guiada, ya que la base de la futura férula quirúrgica será igual a la base de la prótesis que se utilizó para escanear. Debe comprobarse si algún aire es visible entre la prótesis y los tejidos blandos ⁴⁵. Además, la prótesis debe tener un espesor suficiente para permitir una correcta segmentación. En un caso de espesor insuficiente, no es posible diferenciar entre los bordes acrílicos y el aire. Analizando la tomografía computarizada preoperatoria, el ajuste pretendido puede evaluarse utilizando el software, determinando si el aire es visible entre la férula radiológica y el tejido blando. En consecuencia, en el modelo 3D (constituido por la mandíbula o maxilar y la

INTRODUCCION

prótesis escaneada), un espesor insuficiente origina la presencia de agujeros en la prótesis ⁴⁵.

Cuando se fabrica una férula dentosoportada, se recomienda tomar una impresión adicional, y el modelo resultante es escaneado e integrado con las imágenes radiológicas para crear un modelo 3D más preciso de la boca. Este paso adicional se simplifica si utilizamos un escáner intraoral²⁶.

3.2.2. **Fabricación en laboratorio**

3.2.3. **Entrega y instrucciones al paciente**

3.3. PASO 3. ESCANEADO TC/CBCT Y CONVERSIÓN DE LOS ARCHIVOS DIGITALES

3.3.1. **Escaneado con férula radiológica**

Varios estudios han demostrado que no hay diferencias en la precisión entre las imágenes de la TC y de la TCHC, para su uso en la cirugía guiada de implantes. Por lo tanto, es recomendable utilizar la menor exposición a la radiación posible, teniendo en consideración el concepto ALARA²⁶.

En pacientes desdentados totales, la posición ideal de los futuros dientes se visualiza a través de una prótesis de escaneado, de modo a que los implantes puedan ser colocados teniendo en cuenta requisitos anatómicos y protésicos. Como tal, una opción posible es hacer un único escaneado con el paciente usando una prótesis radiopaca.

Un procedimiento de doble escaneado es una otra opción. Primero, se hace un escaneado del paciente con la prótesis y un índice de mordida en la boca. De seguida se hace un segundo escaneado de la prótesis radiopaca. Finalmente es necesario proceder a la combinación de los dos escaneados, integrando la prótesis radiopaca en la estructura anatómica que se pretende estudiar. La prótesis de escaneado debe contener pequeños marcadores

INTRODUCCION

radiopacos (de 1mm de diámetro), y las imágenes maxilofaciales muestran las mismas marcas en relación con el hueso, sin visualizar la propia prótesis de escaneado⁴⁶. Como los marcadores son visibles en ambos los archivos (del paciente y de la prótesis) estos pueden ser transformados y realineados para fusionar la prótesis dentro de las estructuras maxilofaciales²⁶.

La técnica de doble escaneado basada en marcadores fiduciaros (por ej., de gutapercha) puede ser una posible fuente de desviación entre la planificación y la posición final de los implantes en la boca (tanto en pacientes desdentados parciales como en totales) si la coincidencia se hace incorrectamente. El proceso de emparejamiento incluí varios parámetros manuales de ajuste para la segmentación de los marcadores, y es importante elegirlos con el objetivo de obtener un número máximo de marcadores registrados. Pettersson et al.⁴⁷ han concluido que el procedimiento de superposición automática de los marcadores de gutapercha (de los datos del TC del paciente y del TC de la prótesis) ocurrió algunas veces sin ninguna notificación de error, mismo en casos en que han ocurrido movimientos del paciente. Se encontró una correlación estadísticamente significativa entre la variable de lo movimiento del paciente y la variable de la desviación de los implantes colocados. Por lo tanto, el cirujano es responsable por comprobar la exactitud del procedimiento de superposición de los marcadores²⁶.

El uso de los mini-implantes para hacer la función de marcadores podrá aumentar la precisión del proceso de coincidencia de ellos y del posterior posicionamiento de la férula quirúrgica^{26,37}.

La colocación de un rollo de algodón simple en el vestíbulo durante la ejecución de una TCHC, alejando el labio del hueso alveolar ("técnica de elevación de labios"), puede mejorar significativamente el diagnóstico, ayudando en la análisis del hueso, del vestíbulo y del tejido blando.²⁶

3.3.2. Conversión de los archivos digitales

3.3.3. Segmentación

La creación de un modelo anatómico virtual preciso, que incluya el hueso basal y alveolar, la dentición y los tejidos blandos, debe pasar por un proceso de fusión para integrar los datos anatómicos obtenidos por la información de las imágenes de la CBCT y de un escaneado óptico o de superficie plana⁴⁸. Los datos capturados se combinan en un área visual única, mediante el uso de marcadores anatómicos o radiológicos comunes, referencias importantes para el proceso de coincidencia⁴⁹. En este contexto, el mayor reto se basa en la obtención de modelos de múltiples tejidos sin perder la precisión^{45,50}.

Generalmente, la reconstrucción volumétrica de los datos de la CBCT necesita de un proceso de segmentación, cuyos resultados se basan en un algoritmo matemático adoptado por el software, en la resolución espacial y de contraste de los cortes de las imágenes, y la habilidad técnica del operador en seleccionar el valor de umbral adecuado. Es un proceso que cada vez más se hace de una forma automática, con ayuda informática, y que incluye la limpieza de los artefactos de las imágenes de los archivos DICOM, y su conversión en formato 3D^{50,51}.

Durante la fase de segmentación, el tejido óseo se puede separar del tejido blando, de los dientes y de los elementos protésicos, ajustando el intervalo de los umbrales de la densidad anatómica de cada tejido. Se definen las áreas del diente y del hueso en el ordenador, siempre asignando diversos colores para asegurarse de que son más fácilmente identificables durante la reconstrucción 3D subsecuente. Al final del proceso, una imagen 3D de todas las estructuras de reconstrucción estará disponible en el software.

3.4. PASO 4. DIAGNÓSTICO 3D Y PLANIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO

3.4.1. Artefactos radiológicos

Los artefactos resultantes del movimiento durante la adquisición de una TCHC son un problema. Los artefactos metálicos pueden influir en la calidad de la imagen y dificultar la identificación del contorno del hueso alveolar y de los límites anatómicos.

Deben tenerse en cuenta los cambios en la mucosa y en el hueso alveolar durante el intervalo de tiempo entre el diagnóstico inicial y la intervención quirúrgica ⁵². La resorción de la cresta alveolar después de la extracción dentaria, el hueso inmaduro con baja densidad que no se visualiza en el CBCT y los cambios en el espesor de los tejidos blandos pueden resultar en una planificación inadecuada ^{26,44}.

3.4.2. Dientes virtuales

Una correcta configuración de los dientes, realizada virtualmente o con un método analógico, es fundamental²⁶. La capacidad de visualizar la posición del diente optimiza la planificación del tratamiento⁵³.

3.4.3. Inserción virtual de los implantes

Hay varios softwares de planificación disponibles para virtualmente planificar la colocación de implantes. Un implante virtual puede colocarse de una forma realista dentro del hueso alveolar⁴⁴.

La planificación siempre debe basarse en la necesidad de lograr una prótesis que respete los requisitos biológicos, funcionales y estéticos. La colocación guiada del implante requiere una imagen tridimensional del hueso y de la prótesis prevista ²⁶.

La forma más eficaz de utilizar la tecnología generadora de las

INTRODUCCION

CBCT es usada en conjunto con el software de planificación de implantes. Estos programas permiten que el usuario observe todas las características de la posición futura del implante permitiendo la evaluación exacta del volumen y densidad del hueso receptor, del espacio protésico, y la capacidad de identificar y marcar estructuras anatómicas tales como nervios, senos, y dientes proximales. Más allá de la evaluación de la posición futura del implante, la herramienta más útil es la que permite colocar virtualmente un implante en la zona propuesta. Esto permite realizar mediciones precisas de la anchura, profundidad y tamaño del implante antes de la cirugía, ayudando en la etapa de planificación pre-quirúrgica^{41,10}.

La planificación de los implantes (en relación con las zonas óseas que ocuparán) es inducida por la prótesis. Esto se logra a través de la importación de la condición pre-quirúrgica del paciente contenida en archivos (a través de modelos de escayola digitalizados o un escaneado intraoral), el plan protésico propuesto (mediante un encerado de diagnóstico digital, por ejemplo) y la fusión de los archivos con el escaneado CBCT del paciente.

3.5.PASO 5. ELABORACIÓN DE LA FÉRULA QUIRÚRGICA

3.5.1. Selección del tipo de férula

En los pacientes parcialmente desdentados, la férula suele estar soportada por los dientes remanentes, y por tal se denomina férula dentosoportada. Tiene un grado de precisión elevado ya que el soporte dental es rígido e inmóvil, y es compatible con la técnica quirúrgica con o sin colgajo¹⁰. En una revisión bibliográfica de Gallardo et al.⁵⁴ no se encontrarán diferencias estadísticas significativas entre las férulas dentosoportadas y mucosoportadas, en todas las variables. Se resalta que

INTRODUCCION

se deben utilizar como mínimo de soporte para la férula dos dientes sin movilidad, para mejorar la estabilidad⁵⁴.

En los pacientes totalmente desdentados, la férula puede ser oseosoportada o mucosoportada. La oseosoportada está apoyada directamente sobre el tejido óseo del reborde alveolar edéntulo. Se utiliza cuando es necesario hacer un colgajo de espesor total para exponer el hueso y es útil para los casos de escasa disponibilidad ósea, cuando el implantólogo necesita de visión directa de la zona ósea, o en simultaneo se van a realizar otras intervenciones quirúrgicas (expansión ósea, injertos óseos, etc.) en simultáneo¹⁰. Requiere algunas veces una incisión más extensa, pudiendo interferir con el posicionamiento de la férula⁵⁴. Generalmente ocurre un postoperatorio con síntomas dolorosos, inflamatorios o hemorrágicos, semejantes a una cirugía no guiada^{10,55}. En una revisión bibliográfica reciente, las férulas oseosoportadas son las que proporcionaran la menor precisión de todas⁵⁴.

La férula mucosoportada se coloca directamente sobre la mucosa del paciente. Es útil para los casos de una disponibilidad ósea suficiente que permita la colocación de los implantes sin complicaciones. Se utiliza sin realizar colgajo quirúrgico y es la más utilizada en la cirugía guiada. Favorece un postoperatorio muy favorable con escasa presencia de complicaciones dolorosas e inflamatorias¹⁰. La resiliencia de la mucosa y el edema resultante de la anestesia local pueden interferir con el ajuste de la férula, pues una mucosa más gruesa puede disminuir este ajuste⁵⁶. Se deben utilizar tornillos de fijación para reducir la desviación del implante al nivel del ápice^{54,10}.

Un enfoque con férulas mucosoportadas parece ofrecer una mayor exactitud que un procedimiento oseosoportado^{57,28}. Sin embargo, la bibliografía incluida en las revisiones sistemáticas de este tema no informa

INTRODUCCION

sobre las férulas soportadas en el hueso, y fijadas con mini-tornillos al hueso subyacente. En un estudio reciente⁵⁸, no se pudo observar ninguna diferencia entre las férulas apoyadas en hueso y en la mucosa, cuando ambas se estabilizaron con tornillos de fijación²⁶.

3.5.2. Fabricación por estereolitografía

Los planes de tratamiento generados por el software de planificación de implantes se comunican con la realidad clínica, a través de la fabricación de sus férulas quirúrgicas planteadas digitalmente. Estas férulas quirúrgicas se hacen por un proceso de estereolitografía aditiva (SLA) o por un proceso de fresado sustractivo. Algunos paquetes de software están asociados con centros de impresión que sólo permiten la producción de las férulas a través de sus canales de comunicación. Por el contrario, otros softwares de planificación generan archivos que permiten que las férulas sean impresas por el proceso de fabricación que sus usuarios elijan, que puede ser un gran centro de impresión, su laboratorio local o incluso en su propia clínica^{35,59}.

El aparato de estereolitografía consiste en una máquina con un recipiente que contiene un líquido con resina fotopolimerizable. Un láser montado en la parte superior se mueve con una secuencia de cortes transversales de 1mm, correspondientes a los especificados durante la realización de la tomografía computarizada. El láser polimeriza la superficie del líquido con resina. Cuando el primer corte es completado, sucesivas capas de resina son polimerizadas. Se crea un modelo estereolitográfico del paciente. Un porcentaje menor (20%) de la polimerización total puede ser completada en una unidad convencional de luz ultravioleta¹⁰.

INTRODUCCION

Recientemente el softwares como DiagnosticX y otros como Cybermed o Blue Sky Bio, se han equipado con una opción para diseñar férulas quirúrgicas para la cirugía guiada de implantes, sin necesidad de una férula radiológica y a través del uso de una tecnología de impresión tridimensional⁵⁹⁻⁶⁰. Un conjunto de datos radiológicos tridimensionales se carga en el software que permite la planificación virtual de los implantes. Para transferir esta planificación a la realidad, un escaneado óptico tridimensional de un modelo (o de un escaneado intraoral) se debe cargar en el software y superponer sus propias referencias a las referencias radiológicas visibles de los archivos DICOM del paciente. De acuerdo con el escaneado óptico un marcador virtual de la férula se puede incluir en la planificación original. Los conductos metálicos se pueden incluir en el diseño de la férula, y esta se imprime en cualquier impresora 3D. Sin embargo, aunque esta tecnología parece mejorar la fabricación de las férulas debido a las reducciones de tiempo y costos, no hay datos sobre la precisión técnica de este tipo de fabricación³⁵.

Hay que tener en cuenta algunos factores antes de producir la férula. La longitud prevista del implante puede ser una limitación, debido al espacio insuficiente entre las arcadas dentales durante la cirugía (es una limitación relacionada con el paciente). La planificación podría conducir a una férula que implicaría el uso de longitudes de fresado que no estarían disponibles. Además, se debe prever una distancia suficiente entre implantes o entre dientes e implantes, para poder colocar los conductos metálicos en la férula con material suficiente para evitar su fractura (una limitación relacionada con el hardware)²⁶.

La información obtenida de la planificación se utiliza para fabricar las llamadas férulas o guías quirúrgicas, y este proceso es la consecuencia de la transferencia de la posición del implante planificado en el software al

INTRODUCCION

paciente, a través de la férula que dirige la osteotomía e la inserción del implante²⁸.

Se ha demostrado que el uso de una férula quirúrgica generada por ordenador permite optimizar la ubicación del implante, su angulación y la profundidad a la que se coloca. Esto lleva a una probabilidad significativamente menor de ocurrir un error posicional en el momento de la colocación del implante, en comparación con la cirugía no guiada. El grupo de Arisan et al. demostró una probabilidad del 88% de tener un error posicional con un enfoque no guiado y solamente una probabilidad del 6% usando una férula de cirugía guiada asistida por ordenador ⁴¹.

La desviación general en el proceso de producción de una férula estereolitográfica es de ≤ 0.3 mm. La producción de una férula realizada en el laboratorio con la ayuda de un aparato de transferencia de coordenadas o con una máquina fresadora de control numérico (CNC) tiene una desviación de ≤ 0.5 mm ²⁶.

3.6.PASO 6. CIRUGÍA PARA LA COLOCACIÓN DEL IMPLANTE

3.6.1.Adaptación de la férula quirúrgica

Antes de la cirugía, la férula quirúrgica necesita ser adaptada en la boca, y su posicionamiento y estabilización tiene un impacto importante en la precisión de la técnica ⁶¹. A menudo se utiliza un índice de mordida para fijar la férula quirúrgica en su posición correcta antes de colocar los elementos de fijación. Debido a la resiliencia de la mucosa, la guía se puede fijar fácilmente en una posición rotada, resultando en una posición final incorrecta de todos los implantes. Se puede anclar la férula al hueso con mini-tornillos, implantes temporales o tornillos de fijación, evitando así su rotación, y mejorando la precisión del procedimiento ^{26,62}.

INTRODUCCION

Cuando se utiliza un índice de mordida se evalúan las posibles imprecisiones de la superficie oclusal de la férula quirúrgica, ya que pueden comprometer un buen ajuste con el índice⁶³. Además, la mucosa podrá estar hinchada después de la anestesia local, lo que podrá causar pequeños cambios en el ajuste entre la guía y la mucosa⁶⁴.

3.6.2. Colocación del implante utilizando una férula quirúrgica

No se debe pensar en la cirugía guiada de implantes asistida por ordenador como una cirugía exclusivamente sin colgajo, ya que hay indicaciones para la elevación del colgajo en el mismo tiempo quirúrgico²⁶.

Para exponer el hueso en los casos de un enfoque sin colgajo, una técnica “punch” se utiliza a través de la férula. El procedimiento de perforación puede implicar el uso de guías de fresas que se insertan en los conductos metálicos de la férula, que se corresponden a los diámetros de las fresas utilizadas y las guían en toda la secuencia del fresado, en la posición y angulación correctas. Las fresas pueden tener un tope físico o una línea indicadora. Algunos sistemas usan diferentes férulas para cada diámetro de la fresa.

Durante el proceso de la osteotomía, debe tenerse en cuenta una cierta tolerancia en el ajuste de la fresa dentro de los conductos metálicos y/o dentro de las guías de fresas⁶⁵. Por lo tanto, tenemos de comprobar constantemente que la dirección seguida durante la secuencia de fresado es la correcta. Para reducir los errores debido a esta tolerancia podemos aumentar la altura de la guía de fresa y/o la altura de lo conducto metálico, disminuyendo la distancia entre el conducto y el hueso. De esta forma mejoramos la exactitud, según estudios in vitro. Sin embargo, guías de fresas más altas podrían requerir una apertura bucal mayor y la posición apical del conducto metálico está limitada por la mucosa o el hueso

INTRODUCCION

alveolar ⁶⁶. La reducción de la tolerancia entre el fresado y las guías de fresa es mecánicamente difícil debido a la fricción mecánica y a la formación de remanentes metálicos, pero su reducción permite una precisión más elevada^{67,68}. Algunos sistemas describen un diseño de fresa específico evitando el uso de guías de fresas o fresas con adaptadores. La orientación del implante durante su inserción es también garantizada por la férula del sistema²⁶.

3.6.3. Aumento y regeneración ósea si indicado

3.6.4. Colocación de la prótesis provisional en casos de carga inmediata

La rehabilitación protésica en los protocolos de cirugía guiada y carga inmediata comienza antes de la cirugía. Actos clínicos como la obtención de modelos a través de las impresiones, la recogida de registros oclusales y el montaje en articulador son fundamentales para el éxito de la futura rehabilitación^{10,69}.

Con respecto a la provisionalización inmediata, se puede colocar una prótesis en lo mismo acto operatorio de la inserción de los implantes, o entonces se toma una impresión después de la cirugía guiada y se realiza una prótesis fija provisional en las 24-48 horas siguientes ¹⁰.

3.7. PASO 7. PRÓTESIS FINAL Y TRATAMIENTO DE SOPORTE

3.7.1. Colocación de la prótesis definitiva

Una vez realizada la inserción de los implantes, es crucial evaluar el ajuste de los pilares y de la prótesis sobre los implantes^{70,71}. Debe controlarse la oclusión para evitar la incidencia de fuerzas excesivas desfavorables, que pueden, a largo plazo afectar negativamente los diferentes componentes de la prótesis implantosoportada. Las fuerzas oclusales deben seguir el eje axial del implante y de la prótesis correspondiente. Las fuerzas no axiales afectan la oseointegración y cuando

INTRODUCCION

son excesivas producen una pérdida rápida del tejido óseo periimplantario¹⁰. Cerca de 6 meses después de la colocación de una prótesis provisional de forma inmediata, se fabrica una prótesis definitiva¹⁰.

Una segunda opción es la colocación de una prótesis definitiva inmediatamente después de la cirugía, elaborada, sobre todo, a través de la tecnología CAD/CAM. La tecnología CAD/CAM simplifica la confección de las restauraciones, mejorando su calidad en comparación con las restauraciones convencionales, una vez que el material usado puede ser zirconio o titanio, y los pilares se fabrican de modo individual para cada caso, mejorando su ajuste¹⁰.

3.7.2. Cuidado y mantenimiento de soporte

Los pacientes benefician de menos dolor durante la cirugía, así como menores complicaciones postoperatorias. Esta menor morbilidad está relacionada con el menor tiempo quirúrgico y con el beneficio de no tener que elevar un colgajo en la cirugía “flapless”. Los pacientes han indicado preferir este tipo de técnica quirúrgica³¹.

El mantenimiento de soporte de un paciente rehabilitado con implantes, a través de la técnica de cirugía guiada, respecta los mismos presupuestos que cuando usamos la técnica implantológica convencional.

El plan de mantenimiento debe tener un enfoque individual para cada paciente y para el tipo de tratamiento implantológico realizado. Una vez terminada la rehabilitación debe prescribirse enjuagues frecuentes con clorhexidina, y evaluar la oclusión para evitar cualquier sobrecarga oclusal sobre los implantes. Debe realizarse un control radiológico para comprobar el ajuste pasivo, principalmente en los casos de restauraciones atornilladas. Durante el primer año de seguimiento los controles clínicos deben ser realizados a cada 3 meses para evitar en lo posible la aparición de

complicaciones inmediatas y precoces¹⁰.

La pérdida ósea crestal puede ser un indicador clínico y biológico de la respuesta del hueso a la carga funcional de los implantes. Uno de los factores potenciadores de la pérdida ósea puede ser la contaminación bacteriana del microgap pilar-implante, sobre todo cuando su unión está establecida por debajo de la mucosa y de la cresta ósea. La bibliografía actual indica que la cirugía sin colgajo y la cirugía con carga inmediata no alteran el nivel óseo cuando comparadas con otros protocolos quirúrgicos de implantología¹⁰.

4.EL PROGRAMA INFORMÁTICO EN LA CIRUGÍA GUIADA ASISTIDA POR ORDENADOR

Los componentes necesarios para preparar una cirugía guiada de implantes dentales son el conjunto de datos analizados de las imágenes de la TC o de la CBCT, el software de planificación quirúrgica, la férula radiológica y la férula quirúrgica. Las características de estos dos últimos componentes dependen en gran medida del software elegido. El software de planificación de implantes permite planificar virtualmente la cirugía de implantes y diseñar férulas quirúrgicas a través de la información adquirida. Una correcta férula quirúrgica es la que permite al clínico colocar con precisión el implante en la posición deseada, con una trayectoria de inserción predefinida, con una tolerancia mínima, no flexible, y permanecer estable durante el procedimiento quirúrgico³.

Actualmente, existen varios programas de software de planificación de implantes, y algunos sistemas que proporcionan una planificación usando el software nativo de las unidades de adquisición de CBCT. Después de esto adquisición, las imágenes se exportan a los archivos DICOM, un estándar para la distribución y visualización de imágenes médicas,

INTRODUCCION

independientemente de su origen.

Cuando el conjunto de datos se carga en el software nativo o de terceros, los datos deben ser interpretados de una forma completa. Una reconstrucción CBCT se obtiene de todas las imágenes creadas y permite una visualización con diferentes perspectivas. Por lo tanto, una sección transversal, una vista panorámica, una vista multiplanar, o una renderización de volúmenes, entre otros son considerados reconstrucciones de la CBCT. Para propósitos de planificación de implantes, la sección transversal es la imagen de diagnóstico primaria utilizada para la evaluación del volumen y la calidad ósea. Sin embargo, usando el principio de la correlación, muchas otras reconstrucciones pueden y deben ser utilizadas para mejorar el proceso diagnóstico³.

Todos los programas de software permiten la visualización del conjunto de datos en la vista de reconstrucción multiplanar, que es el modo de visualización predeterminado en la TC y en la CBCT. Las imágenes 2D se pueden visualizar en 3 planos diferentes (axial, coronal y sagital). Algunos programas de software incluyen una imagen 3D que es un producto final del procesamiento digital. La información sobre los 3 planos diferentes debe ser completamente interpretada, porque cada plan proporciona información diferente de las diferentes estructuras incluidas en el campo de visión (FOV). La análisis diagnóstica de la condición patológica no se limita al área de interés sino a todas las estructuras anatómicas incluidas en el FOV³.

4.1.MANIPULACIÓN DE DATOS EN LA PLANIFICACIÓN QUIRÚRGICA EN CIRUGÍA GUIADA

La técnica de adquisición de una CBCT comprende un conjunto de requisitos específicos que aseguran que las imágenes creadas y usadas en la

INTRODUCCION

planificación respetan los parámetros necesarios para la ejecución de un protocolo clínico correcto. La mayoría de los softwares de imágenes de la CBCT permiten al usuario final manipular las imágenes con controles flexibles y variados. Esta flexibilidad no sólo proporciona una gran cantidad de creatividad y potencial de generación de imágenes, sino que también puede llevar a errores de reconstrucción de imágenes múltiples, si los principios específicos no se establezcan como un estándar. La mayoría de estos principios se refieren a cómo se orientan los datos de volumen y cómo se crean imágenes de corte transversal. Hacer esto incorrectamente resulta en imágenes que pueden conducir a errores visuales y de medida³.

4.1.1.Principio de orientación y seccionamiento transversal (Cross Section)

Un principio crítico antes de la planificación de los implantes es la orientación correcta de los datos de volumen del paciente. De acuerdo con la mayoría de los softwares de planificación de implantes, la capacidad de reorientar el volumen del paciente es esencial debido al hecho de que los errores de orientación se trasladan a las imágenes de corte transversal, resultando en mediciones incorrectas de zonas anatómicas y regiones de interés.

Para entender la correcta orientación del paciente, la posición del cráneo se analiza en las perspectivas axial, sagital y coronal. La inclinación sagital es quizás la más importante, afectando la altura de las secciones transversales subsecuentes de las arcadas dentales. La inclinación sagital debe nivelarse con el plano oclusal anteroposterior y en el eje horizontal. Si la boca está abierta, se debe utilizar una estimación del plano oclusal, y cada arcada puede necesitar de su propia orientación para que se creen secciones transversales apropiadas, si la abertura es extensa. La inclinación

INTRODUCCION

axial debe centrar la línea media del paciente de una manera anteroposterior de modo que cuando esté visible la imagen axial, muestre la cara del paciente correctamente, hacia adelante sin virar a la izquierda o a la derecha. Un hito anatómico que se puede utilizar en este caso es la alineación de las espinas nasales anteriores y posteriores. La vista coronal también debe nivelar el plano oclusal horizontalmente. De manera que ni el lado izquierdo ni el derecho de la arcada queden más altos o bajos contralateralmente^{3,72}.

Una vez configurada la orientación del paciente, todas las imágenes subsiguientes están listas para ser creadas. Las imágenes de CBCT proporcionan la flexibilidad para formatear el volumen y visualizar los datos desde muchas perspectivas diferentes. Saber cómo crear cortes transversales precisos es una habilidad imprescindible cuando se utiliza cualquier software de imágenes de CBCT. El principio esencial es que las secciones transversales de las zonas receptoras del implante deben ser perpendiculares a la curva de la arcada dental y nivelarse con la trayectoria del implante o del plano oclusal. Este principio asegura que se pueden realizar medidas con exactitud para la anchura bucolingual y las evaluaciones en altura (verticales)⁷³. Desde una perspectiva visual, estas secciones transversales parecen asemejarse a cortes sagitales cercanos a la línea media de la arcada dental y se convierten gradualmente en cortes coronales cercanos a las regiones posteriores de las arcadas dentales³.

Es posible crear secciones transversales de diagnóstico poco definidas, con el software de imagen, lo que puede conducir a errores de medición. Este error sucede con frecuencia cuando una sección transversal corta oblicuamente a través de la dimensión bucolingual de la zona receptora del implante, cortando así una cantidad anatómica excesiva. La sección transversal parece y mide más de largo que la dimensión

INTRODUCCION

bucolingual real. Las inexactitudes en la orientación del paciente, específicamente la inclinación sagital, también pueden perpetuar errores en las secciones transversales. Si el cráneo del paciente se inclina demasiado hacia atrás o hacia adelante (mentón hacia abajo o hacia arriba) las secciones transversales pueden cortar oblicuamente la dimensión vertical de una forma excesiva, de nuevo conduciendo a errores de medición. Este error de sección transversal puede ser particularmente peligroso al determinar la longitud de un implante para una zona específica y por lo tanto puede llevar a complicaciones clínicas no previstas (eg., el daño de un nervio o la invasión del seno maxilar)³.

4.1.2. Reconstrucciones panorámicas

Las reconstrucciones panorámicas son imágenes que intentan reproducir las radiografías panorámicas tradicionales. Hay que recordar que las reconstrucciones panorámicas basadas en la TCHC, por su propia naturaleza, contienen muchos de los mismos errores dimensionales que las imágenes panorámicas tradicionales. Con las herramientas de reorientación y de la curva panorámica, las distorsiones dimensionales de la imagen panorámica reconstruida pueden ser limitadas. Sin embargo, las distorsiones dimensionales y, por tanto, los errores de medición están siempre presentes, debido a que las imágenes panorámicas reconstruidas siguen siendo sólo representaciones aplanadas en 2D de estructuras curvas en 3D. Estas reconstrucciones panorámicas pueden ayudar en la visualización de los casos de implantes y en el principio de correlación. Sin embargo, no deben ser las únicas reconstrucciones utilizadas para calcular las medidas clínicas como la disponibilidad vertical del hueso, la distancia mesiodistal en espacios edentulos, las estimaciones de nivel del hueso alveolar, o cualquier otra medida en que se necesita de la máxima

INTRODUCCION

precisión posible³.

Cuando se utiliza un software de planificación, las imágenes y los cortes siempre deben ser correctamente referenciados con la imagen axial original. En la mayoría de los softwares, se configura una curva panorámica para abarcar y curvar alrededor de la arcada dental. Las marcas numeradas son también una característica de esta curva panorámica. El principio de correlación se refiere a las marcas numeradas y al método general y a la forma de la curva panorámica, que garantiza que la ubicación exacta mesiodistal a lo largo de la arcada dental es conocida en cada sección transversal, y que cada sección transversal fue creada correctamente como se mencionó anteriormente. Las reconstrucciones panorámicas o los cortes panorámicos se utilizan a veces también para correlacionar la localización de la sección transversal. Sin las correspondientes secciones transversales axiales o panorámicas, no se puede estar totalmente seguro de la ubicación mesiodistal de una sección transversal, pero más importante aún, no se sabe si esta se ha creado correctamente. Por lo tanto, las secciones transversales deben evaluarse siempre con vistas correlacionadas con la curva panorámica, especialmente cuando se utilizan impresiones o imágenes digitales, y cuando se presenta o se discute un caso clínico³.

Los pacientes edentulos deben ser escaneados usando férulas radiográficas con marcadores radiopacos para ayudar en la localización de secciones transversales específicas y/o propuestas para zonas receptoras de implantes. Estos marcadores son importantes para la posición de los dientes con respecto al hueso alveolar y a las secciones transversales de los datos de la TCHC.

4.1.3. Herramientas de segmentación

Las representaciones volumétricas ayudan en la visualización 3D de las ubicaciones de los implantes, en la evaluación de sus trayectorias, y sus angulaciones respetadoras de los requisitos protésicos. Estas representaciones también pueden ayudar a evaluar el espacio disponible para cualquier objetivo restaurador en particular. Sin embargo, por lo general carecen de la capacidad de representar con precisión la anatomía interna y por lo tanto sólo se deben utilizar después o con el análisis transversal en simultáneo. La morfología superficial exacta de las representaciones volumétricas puede también no representar exactamente la anatomía del paciente. Por ello, es importante recordar que los modelos 3D deben ser utilizados como complemento del proceso de diagnóstico y planificación³.

Los modelos tridimensionales pueden ofrecer una idea de la anatomía general tal como eminencias radiculares, defectos óseos, zonas regeneradas, exostosis y malposicionamientos dentarios. Finalmente, las representaciones del volumen pueden servir como una herramienta educativa para que los pacientes entiendan cómo funciona todo el proceso³.

Algunos programas de software permiten manipular los volúmenes 3D y crear modelos de alta resolución mediante herramientas avanzadas de segmentación^{49,74}. Diferentes estructuras pueden segmentarse por medio de la creación de máscaras o mallas, permitiendo al usuario separar y colorear diferentes estructuras anatómicas. El hecho de que las diferentes estructuras se pueden apagar o encender permite al usuario ver todas las máscaras diferentes por separado, para tener una mejor comprensión de la morfología de estas estructuras. Algunos programas de software ofrecen una herramienta de transparencia, que permite al usuario ver estructuras como el maxilar o la mandíbula de una manera semitransparente, revelando

INTRODUCCION

estructuras opacas debajo del hueso³.

La dispersión originada de las restauraciones metálicas causa un perjuicio en la imagen y la calidad de representación 3D. Esa dispersión puede ser borrada o segmentada manualmente con herramientas avanzadas de la representación de volumen 3D, pero no puede ser eliminada en las imágenes 2D. Algunas unidades de adquisición de CBCT minimizan este artefacto usando algoritmos integrados. Con algunos programas de software, este es un paso crítico que puede ser superado con la superposición de modelos de escayola escaneados o digitalizados. Es, sin embargo, un paso desperdiciador de tiempo, y al quitar la dispersión, se debe tener el cuidado de asegurar que las estructuras anatómicas reales no se eliminen³.

4.1.4. Herramientas de identificación del nervio dentario inferior

Debido a que el canal alveolar inferior es uno de los hitos más comunes a tener en cuenta cuando se colocan implantes dentales, es imprescindible trazar su localización a través de la mandíbula. La mayoría de los softwares de planificación proporcionan las herramientas necesarias para trazar el canal alveolar inferior. El rastreo se realiza dibujando puntos en la trayectoria del canal y desplazándose por las imágenes panorámicas, axiales y transversales. Este paso debe ser cuidadosamente hecho, sin embargo, porque la posición del canal no es la misma al nivel de los agujeros lingual y mentoniano. Algunos softwares sólo requieren un par de puntos de referencia, y basados en algoritmos que comparan los niveles de densidad (valores grises), trazan semiautomáticamente el canal. Estos puntos se pueden mover para ajustar las ubicaciones, en seguida. La anchura del canal semiautomático se puede ajustar para acomodarse a la anchura del canal del paciente. Esta tarea puede complicarse si el paciente

está osteopénico o si hay artefactos de movimiento porque las márgenes de los canales pueden no ser fácilmente visualizadas³.

4.1.5. Planificación quirúrgica guiada por implantes

Cuando se analiza los datos de la CBCT del paciente, más allá de utilizar las herramientas de software correctamente, también hay que evaluar cualitativa y cuantitativamente todas las condiciones anatómicas limitativas. Una condición limitativa se define como cualquier restricción anatómica de una zona que pueda limitar o influir en la colocación del implante y su rehabilitación³.

Existen múltiples condiciones limitativas en las arcadas mandibulares y maxilares. La condición de límite primario es la anchura bucolingual del hueso alveolar en la cresta alveolar, que puede impedir la selección de un implante con la anchura adecuada. El hueso alveolar muy reabsorbido expone el hueso basal que a su vez limita verticalmente la longitud del implante. Debe prestarse especial atención a la cresta alveolar, asegurando que el hueso adecuado rodee todo el aspecto del implante, para asegurarse de que no está violando ninguna estructura o límites críticos. Las herramientas de software pueden alertar al usuario cuando se violen estos límites o espacios críticos. Es importante determinar si las concavidades faciales o linguales están presentes a lo largo de la zona receptora del implante, y evaluar el contorno general y la calidad del hueso. Las visualizaciones y mediciones deben tener lugar tanto en las dimensiones bucolinguales como en las mesiodistales, ya que es muy común que falte espacio en ambos. También se pueden obtener mediciones de la densidad, pero debido a la naturaleza de las imágenes de la CBCT, estas mediciones no son exactas. También se debe evaluar la proximidad de los implantes adyacentes y/o las raíces de los dientes y su angulación. Una

INTRODUCCION

herramienta útil para esto es la herramienta de paralelismo, que puede ayudar a tornar estas estructuras tan paralelas como sea posible a los dientes adyacentes o a otros implantes^{3,10}.

Una vez efectuadas las mediciones en las imágenes transversales, el clínico puede colocar los implantes en las regiones de interés con las características obtenidas a partir de las mediciones preliminares. Los softwares de planificación de implantes incluyen bibliotecas con la mayoría de los implantes disponibles en el mercado y sus pilares compatibles (tanto rectos como angulados). Estas bibliotecas se actualizan constantemente. La mayoría de los softwares permiten la creación de una zona de seguridad alrededor del cuerpo del implante virtual (que puede ajustarse a 1-2 mm) ayudando a minimizar la invasión del espacio biológico por errores de manipulación de datos. Los perfiles de emergencia también pueden ser identificados usando las proyecciones de los pilares. Se pueden colocar formas de dientes virtuales para la simulación de la corona final (cementada o atornillada). Estos dientes virtuales se pueden individualizar para cada paciente, permitiendo la simulación de las necesidades protésicas de la zona a rehabilitar³.

Algunas otras herramientas permiten al usuario simular los procedimientos de aumento óseo. Con esta característica se puede calcular el volumen (en cc) de un injerto óseo necesario y donde se deben colocar los tornillos de fijación³.

Las herramientas de recorte son útiles para identificar la posición del implante dentro del hueso en los diferentes planos, ofreciendo información sobre el espesor cortical y la posición del implante con respecto a los bordes corticales³.

4.1.6.Consideraciones protésicas para la planificación quirúrgica

El objetivo final de colocar los implantes dentales es la restauración protésica definitiva, por lo que siempre se debe basar nuestra planificación con la restauración en mente. Existen múltiples factores que influyen en la rehabilitación de los implantes, los cuales pueden ser evaluados en las imágenes de la CBCT. Cuando se planifican los implantes, se debe evaluar la trayectoria ideal hacia la oclusión opuesta. Esta evaluación no siempre es posible porque la arcada oponente puede no estar incluida en el FOV. Por lo tanto, es importante conocer las limitaciones de las acciones y los diseños de los pilares personalizados. La angulación excesiva corona-implante, aunque sea factible de restaurar, puede causar la distribución desfavorable de las fuerzas oclusales y conducir a la pérdida del implante ³.

Una evaluación del espacio entre las arcadas puede ayudar a determinar si hay espacio suficiente para la restauración. Es común que los dientes antagonistas sobreerupcionen en el espacio edéntulo, dificultando la restauración final si no se ha contemplado oportunamente este punto en la planificación. El aumento de la cresta es por veces una solución para obtener una altura vertical adecuada para los diseños protésicos. La anchura mesiodistal del espacio entre los dientes adyacentes y/o otros implantes también puede limitar o impedir que se coloque un implante o su restauración correspondiente ³.

Las prótesis dentales implantosoportadas pueden planificarse con mayor exactitud en este contexto. Una prótesis radiopaca duplicada, en un proceso de escaneado, ayuda a delinear los límites de los tejidos blandos y también mostrar los dientes. Este procedimiento hace que la planificación de la ubicación y la trayectoria de los implantes dentro de la prótesis propuesta sea mucho más fácil. El espesor gingival también puede ser evaluado, lo cual es útil para consideraciones de la localización de las

INTRODUCCION

prótesis dentales. Consecuentemente, la colocación de los implantes en una ubicación ideal y su angulación para la estabilidad de las prótesis se ve mejorada con esta técnica ³.

4.2.LA UTILIDAD DE LAS HERRAMIENTAS VIRTUALES

La transferencia de los datos de la planificación del implante al campo operatorio, mediante un software adecuado, sigue siendo la parte más delicada. La reducción del número de pasos necesarios a esta etapa simplifica el procediendo y minimiza los errores. La implementación de escaneados ópticos combinados con datos radiológicos 3D e impresión 3D lo harán posible ^{75,59}.

Actualmente, las tomografías computarizadas y software especializados (DTX Studio Implant, Simplant, BTI Scan II, Implant Viewer, Dental Slice) han permitido la planificación quirúrgica y protésica en un ambiente virtual, a partir de una visualización ósea tridimensional precisa y a través de su relación con la futura prótesis. En la planificación virtual es posible evaluar y medir la densidad ósea, seleccionar el tipo, tamaño y número de implantes; verificar su localización, y su inclinación y incluso verificar la posibilidad de bicorticalización de los implantes en el maxilar superior ⁷⁶. Es aun posible analizar las características de los pilares y la emergencia del tornillo protésico de la futura prótesis, comprobar el posicionamiento adecuado de lo conducto metálico en la férula quirúrgica y la localización ideal de los tornillos de fijación, que son los responsables para la estabilidad de la férula en la boca durante el procedimiento quirúrgico ⁷⁷.

Generalmente, el conjunto de datos tridimensionales de las imágenes consta de 4 puntos de vista básicos: el axial, los cortes transversales, la vista panorámica reconstruida, y el volumen reconstruido tridimensional.

INTRODUCCION

Cada uno de estos puntos de vista es importante, ya que ninguna vista individualmente puede determinar el tratamiento final deseado ⁴⁴.

La vista transversal es importante para ayudar a determinar la calidad del hueso, el grosor de las tablas corticales, las patologías del seno y patologías periapicales. El diente natural muchas veces está colocado junto a la zona vestibular o lingual del hueso alveolar. Por lo tanto, al considerar la colocación del implante, los clínicos pueden intentar erróneamente colocar el implante dentro del alvéolo postextracción, que puede dar lugar a resultados menos satisfactorios. Una apreciación de la imagen seccionada transversalmente puede ayudar a determinar la topografía del alvéolo, de la morfología de la raíz, y de la extensión de cualquiera concavidad bucal. Si la zona es crítica para la reconstrucción prevista, entonces los procedimientos de injerto óseo deben ser considerados, y verificar si hay defectos óseos presentes, a menudo no detectados por las imágenes radiográficas 2D ⁴⁴.

A través de representaciones gráficas, el software de planificación puede simular la trayectoria de un pilar sobre un implante dental, que, por ejemplo, atraviesa la cara vestibular de una restauración. Esta relación puede requerir un pilar para recibir una restauración cementada. Si se desea una restauración atornillada, el extremo apical del implante debe girarse hacia la tabla cortical vestibular de manera que la proyección del pilar pueda emerger de la cara palatina o del cingulo del diente. Esto puede dar lugar a un volumen menor del hueso que rodea el implante, y requerirse un injerto para obtener éxito a largo plazo. Si el implante está colocado en una zona en que el mayor volumen de hueso rodeará el implante, se puede colocar un pilar angulado para una restauración cementada o atornillada ⁶⁰.

Existen planificaciones digitales que incluyen un concepto llamado Triángulo del Hueso. Es un enfoque desarrollado para analizar la calidad

INTRODUCCION

del hueso, cantidad y disposición en locales de futuros implantes dentales, mediante el uso de imágenes de la CBCT. El concepto crea un árbol de decisión de siete parámetros básicos para la planificación de un tratamiento adecuado⁴⁴. Estos siete parámetros no se deben basar en una sola imagen, para originar la evaluación final. Más bien, la información debe ser evaluada y asimilada para obtener una apreciación de todas las imágenes disponibles, incluyendo las reconstrucciones axiales, transversales, panorámicas y 3D. Se incluyen los siguientes parámetros:

1) *Calidad del hueso*. Los datos de la tomografía computarizada permiten al clínico determinar la calidad ósea, a través de la interpretación de los valores de escala de grises denominadas unidades de Hounsfield e inspeccionar la topografía y el espesor de la tabla cortical labial y palatal.

2) *Volumen del hueso*. Los datos permiten al clínico evaluar el volumen del hueso, esencial para la fijación adecuada, vascularización ósea y mantenimiento.

3) *Defectos óseos*. Permiten valorar cualquier defecto óseo en el triángulo, importante para la planificación implantológica y para procedimientos de injertos.

4) *Longitud y anchura de los implantes*. Los datos permiten al clínico identificar el implante ideal para la zona predeterminada²⁵.

5) *Implantes cónicos o cilíndricos*. Con los tipos de implantes actualmente disponibles, el triángulo, en combinación con otras vistas del escaneado del CT, ayuda al clínico a determinar qué tipo de implante será más adecuado para la zona receptora.

6) *Implantes de una sola pieza*. Estos implantes, estrechos o de un diámetro estándar, son técnicamente sensibles, y pueden limitar considerablemente la fase protésica si se colocan en posiciones menos deseables para la técnica. El Triángulo ayuda al clínico a identificar zonas

INTRODUCCION

receptoras potenciales que pueden utilizarse con éxito para este tipo de implantes.

7) *Procedimientos de injertos*. El Triángulo ayuda a determinar si son necesarios injertos y además, si el injerto debe ser de hueso (particulado o en bloque), o si debe ser limitado a los tejidos blandos, basados en el volumen del defecto ⁷⁸.

El Triángulo ayuda en la comprensión de la relación entre la posición del implante y el objetivo deseado para la prótesis. La base geométrica del triángulo es visualizada a partir de la zona más ancha del hueso alveolar vestibular y superior. El vértice del triángulo está posicionado para diseccionar la cresta alveolar. El Triángulo, y la superposición de su imagen en el corte transversal revela si está disponible el tipo adecuado de hueso para la colocación de implantes. También ayuda a identificar los defectos cóncavos de hueso vestibulares y determinar con precisión el ancho del hueso en la cresta ⁷⁸.

**PLANTEAMIENTO
DEL
PROBLEMA**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tratamiento con implantes oseointegrados representa, en la actualidad, una opción terapéutica muy exitosa en la práctica clínica odontológica. La rehabilitación con implantes orales, tras la evaluación sistémica y oral del paciente, la determinación del plan de tratamiento y un correcto protocolo quirúrgico y prostodóncico, constituye una visión multidisciplinaria del tratamiento implantológico, agregando cada vez más soluciones y herramientas que ayudan al clínico a tomar mejores decisiones, y a convertir las rehabilitaciones orales más predicibles, seguras y consistentes ¹⁰.

La introducción y evolución de los equipos de rayos X tridimensionales, que emiten mucho menos radiación que los dispositivos anteriores, permiten a los clínicos reunir de una manera fácil y precisa los datos anatómicos de las estructuras involucradas ⁹.

Con la aparición de la tomografía computarizada de haz cónico (en inglés CBCT), se ha revolucionado el diagnóstico en la implantología oral, y también en el tratamiento con la técnica de cirugía guiada asistida por ordenador ^{10,17}.

La utilización de la técnica de cirugía guiada asistida por ordenador permite de una forma práctica incluir la prótesis final como factor de decisión en la planificación de la colocación de los implantes. Virtualmente y con el uso de un software de planificación, se puede optimizar su ubicación antes de la cirugía ²⁷. Así, los implantes pueden ser planificados para apoyar una prótesis que proporcione los requisitos biológicos, funcionales y estéticos ideales y al mismo tiempo respetar la anatomía maxilar o mandíbular. Esta técnica puede, por supuesto, contribuir para un éxito a largo plazo de la rehabilitación con estos implantes, como están demostrando los estudios a medio y largo plazo ^{56,74-75}.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La investigación permanente y la experiencia clínica acumulada ha ido acompañando la evolución de los tratamientos implantológicos, y sus escáneres capturando hoy en día datos de los modelos y impresiones con gran precisión ⁴⁹. Actualmente están disponibles escáneres intraorales que a corto plazo podrán substituir la manera tradicional de hacer un registro de la boca del paciente ⁴⁰.

La evolución de los softwares para implantología oral van en el sentido de permitir la captación de información de diferentes fuentes, hacer su procesamiento y ponerla a disposición de los clínicos. Los programas informáticos, que inicialmente tenían un papel más de apoyo y de asistencia a la visualización de las imágenes radiológicas, actualmente procesan archivos que generan guías para usar en medios complementarios de diagnóstico y en el procedimiento quirúrgico, todo a través de procesos de sustracción o adición virtual ²⁸⁻³².

Actualmente, existen una amplia variedad de programas de software de planificación de implantes, y algunos sistemas que proporcionan una planificación usando el software nativo de las unidades de adquisición de CBCT. Después de esta adquisición, las imágenes se exportan a los archivos DICOM, un estándar para la distribución y visualización de imágenes médicas, independientemente de su origen. Cuando el conjunto de datos se carga en el software, los datos deben ser interpretados de una forma completa. Una reconstrucción CBCT se obtiene de todas las imágenes creadas y permite una visualización con diferentes perspectivas. Por lo tanto, una sección transversal, una vista panorámica, o una vista multiplanar, son consideradas reconstrucciones de la CBCT ³.

Con el crecimiento de la técnica de implantología oral asistida por ordenador, fue necesario desarrollar mecanismos de seguridad y de precisión, para conseguir procedimientos fiables y viables. Los resultados

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

exitosos fueran continuamente basados en la evidencia clínica y reflejados en la bibliografía. La colocación de implantes provisionales en boca para obtener puntos de referencia en arcadas edéntulos, el control de la orientación de los cortes axiales al plano oclusal, las técnicas de segmentación digital, todas estas funcionalidades juntas contribuyen a mejorar la técnica y consecuentemente el resultado final ³⁴⁻³⁷.

El resultado de todo el flujo de trabajo, desde la planificación a la cirugía se queda reflejado en la guía quirúrgica. Su precisión es un factor fundamental para evaluar el éxito la rehabilitación, así que es igualmente importante percibir, de entre los sistemas de cirugía guiada, cual presenta mayor grado de precisión ⁴³⁻⁴⁶. Semejantemente, el resultado final de una rehabilitación pasa por la evaluación de las tasas de supervivencia de los implantes involucrados, representando este otro factor que puede reflejar sobre la fiabilidad de estos sistemas ⁷⁹.

Actualmente existen una variedad amplia de programas informáticos de cirugía guiada, y cada uno procura diferenciarse y por lo tanto merecer la elección y confianza del clínico ⁴⁹⁻⁵². Es importante su conocimiento y valoración para seleccionar sus mejores aplicaciones diagnósticas y clínicas.

Por tanto, los objetivos del presente trabajo de investigación doctoral son:

1. Evaluar la importancia de los programas informáticos de cirugía guiada basados en los datos obtenidos por la CBCT para la realización del protocolo diagnóstico, quirúrgico y prostodóncico.

2. Evaluar las características de cada paso del flujo de trabajo digital.

MATERIAL
Y
METODOS

1. ELEMENTOS DE HARDWARE Y SOFTWARE EMPLEADOS.

Se han empleado, para el análisis del tema de esta tesis doctoral, los siguientes dispositivos:

1.1. HARDWARE

- Ordenador Macbook Pro (2017), con un Procesador 3,1GHz Intel Core i5, y Memoria RAM 8GB 2133MHz LPDDR3. Tiene instalado el sistema operativo MacOS High Sierra, y un programa emulador de Windows 10, VMWare Fusion, v.8.5.3.

1.2. SOFTWARE

Se utilizarán los siguientes 5 programas informáticos de cirugía guiada para colocación de implantes dentales:

1.2.1. **coDiagnostix** ®, versión de demostración 9.9

Compatibilidad con Windows 10

Fabricante: Dental Wings GmbH ®, Dusseldorfer Platz 1, 09111 Chemnitz, Alemania.

coDiagnostiX ® lee los datos de imágenes en 3D de los escáneres CBCT y los hace coincidir con los datos escaneados de modelos o de toma de impresión que contienen información de los dientes y la encía. El software presenta un flujo de trabajo completamente digital que ahorra tiempo y no requiere una plantilla de escaneo. Las guías de perforación diseñadas con el software coDiagnostiX admiten la inserción de implantes

MATERIAL Y METODOS

mediante cirugía guiada.

Según el fabricante, coDiagnostiX ofrece un innovador flujo de trabajo completamente digital con un diseño integrado de guía de perforación. El software admite la producción de guías de perforación tanto local como centralizada.

- No se requiere plantilla de escaneo.
- Guías de perforación personalizadas y altamente precisas.
- Fabricación rentable a través de impresión 3D automatizada de alta capacidad.
- Mayor flexibilidad debido a la fabricación de la guía de perforación por parte de su laboratorio local.
- Relación fortalecida entre el dentista y el laboratorio.

Para los clínicos, ofrece los siguientes beneficios:

- Ofrezca un tratamiento estándar de calidad con visitas mínimas para el paciente a un costoasequible (no se requiere una plantilla de escaneo obligatoria)
- Aplique una cirugía mínimamente invasiva
- Integre flujos de trabajo quirúrgicos y protésicos
- Encargue guías de perforación altamente precisas y personalizadas y restauraciones temporales provisionales directamente desde su laboratorio local

MATERIAL Y METODOS

1.2.2. **DTX Studio Implant** ®, (antes NobelClinician) versión de demostración 3.3.2.1.

Compatibilidad con MacOS

Fabricante: Nobel Biocare AB ®, Box 5190 (Vastra Hamngatan 1, 411 17 Goteborg), 402 26 Goteborg, Suecia

Según el fabricante, su aplicación permite:

1.2.2.1. Activar la cirugía de implantes en el mismo día. Escanee, planifique y navegue; el flujo de trabajo es así de sencillo.

- Cree un plan de tratamiento con implantes en DTX Studio Implant y expórtelo inmediatamente a X-Guide
- Controle la posición de fresas e implantes en tiempo real con navegación 3D dinámica durante la cirugía
- Realice cirugía guiada para más pacientes sin necesidad de utilizar plantillas quirúrgicas

1.2.2.2. Adaptar dinámicamente la cirugía. X-Guide impresiona en cualquier situación.

- Vea su planificación y mantenga el control en todo momento
- Adapte inmediatamente su plan de tratamiento durante la cirugía si lo precisa

1.2.2.3. Es como un GPS para su cirugía. El sistema X-Guide ofrece en tiempo real guía 3D de la posición de la fresa y la anatomía.

- Controle todos los movimientos de su pieza de mano para lograr una colocación más precisa del implante.
- Controle su fresa incluso cuando no esté al alcance de su vista.

MATERIAL Y METODOS

1.2.2.4. Atraer más pacientes. Muestre a los pacientes que utiliza las últimas tecnologías. Con X-Guide, usted puede:

- Realizar cirugía a manoalzada con guía 3D de la fresa en tiempo real
- Elegir entre cirugía con o sin colgajo
- A través de DTX Studio suite, utilizar un concepto integrado para diagnóstico, planificación y colocación de implantes
- Acortar el tiempo de tratamiento.

1.2.3. **Galimplant 3D** ®, versión de demostración 7.0.0.4.

Compatibilidad con Windows 10

Fabricante: Galimplant ®, C/ Benigno Quiroga, 90º 27600, Sarria (Lugo), España

Según el fabricante, este programa informático proporciona la base para una correcta interpretación de las imágenes tomográficas como herramienta del clínico para la planificación de la implantología guiada.

El software original ha demostrado su aplicabilidad clínica con éxito en el tratamiento de pacientes edéntulos parciales y totales mediante cirugía guiada y férulas estereolitográficas.

Una vez seleccionada la opción, se procede a importar las imágenes DICOM en la carpeta correspondiente asignada a un paciente determinado. El programa debe ir seleccionando la secuencia completa de los archivos tomográficos disponibles en el CD, puerto USB o escritorio.

En este sentido, la ventana principal muestra la imagen panorámica (superior), la axial (lateral izquierda), los cortes (central) y el modelo 3D (lateral derecha).

MATERIAL Y METODOS

. Este programa permite identificar y resaltar, cromáticamente, las estructuras anatómicas importantes como el nervio dentario inferior. El programa valora las dimensiones del hueso alveolar disponible en sentido vertical y horizontal. El permite valorar el grado de densidad del hueso alveolar donde se van a planificar e insertar posteriormente los implantes.

. Posteriormente, se procede a insertar la imagen virtual de los implantes, seleccionando sus características macroscópicas. Las imágenes virtuales de los implantes aparecen tridimensionalmente.

. El programa valora el espesor de la mucosa para ajustar la profundidad del implante y se puede obtener la férula quirúrgica y la prótesis inmediata.

1.2.4. **Nemoscan**®, versión de demostración 12.12.0

Compatibilidad con Windows 10

Fabricante: Software Nemotec, S.L.®, C/ Juan de la Cierva, 66,
Arroyomolinos 28939 (Madrid) España

NemoScan es un software para el diagnóstico y planificación de restauraciones implantosoportadas.

Según el fabricante, su aplicación permite:

- Visualización de Tomografías
- Segmentación de dientes para simular extracciones virtuales
- Amplia librería de implantes con más de 60 marcas
- Amplia librería de aditamentos
- Alineación de distintos tipos de modelos a la tomografía (escáner intraoral, encerados digitalizados)
- Edición y transformación de mallas

MATERIAL Y METODOS

- Previsualización de distintas galerías de prótesis durante la planificación
- Planificación de tratamiento implantológico teniendo en cuenta la prótesis
- Planificación y generación de implantes, aditamentos o prótesis a medida y estándares
- Análisis de oclusión con articulador virtual
- Generación de productos: FRI, Biomodelos (prequirúrgico, óseos, etc.) y múltiples guías quirúrgicas
- Conexión con NemoBox para compartir casos de implantología con doctores, laboratorios o pacientes
- Integración multidisciplinar con cualquiera de los módulos de la suite NemoStudio de Nemotec.

1.2.5. **Simplant Pro 18.0** ®, versión de demostración 18.0.0.405

Compatibilidad con Windows 10

Fabricante: Dentsply Implants NV ®, Research Campus 10, 3500 Hasselt, Bélgica.

El software de planificación dental **Simplant Pro 18.0** ®, le proviene al clínico de opciones quirúrgicas precisas y predecibles. Le permite al clínico examinar la anatomía del paciente y ver exactamente como relacionarla con la restauración propuesta. El plan de tratamiento se puede comunicar a sus colegas, al laboratorio dental y al paciente que verá exactamente qué comporta su plan de tratamiento.

Según el fabricante, su aplicación permite:

- Planificación de implantes predecible, considerando los aspectos quirúrgicos y prostéticos.
- Comunicación 3D completa con el paciente

MATERIAL Y METODOS

- Óptima comunicación entre el equipo
- Resultados predecibles que llevan a una ajuste de costes
- Colocación del implante más precisa con la Guía Simplant.
- Restauración temporal inmediata, ya preparada antes de la cirugía - concepto Immediate Smile.
- Compatible con más de 10.000 implantes de más de 100 marcas, así como con los escaners CBCT compatibles DICOM, y la mayoría de escaners ópticos e intraorales.
- Software de planificación dental con más de 20 años de experiencia.
- Simplant Team-Up! Una APP para una comunicación facil y segura entre el equipo.

2. MÉTODO DE ANÁLISIS Y VALORACIÓN.

El método de análisis seguirá las siguientes etapas:

1. Selección de los programas informáticos de cirugía guiada disponibles en el mercado nacional e internacional.
2. Utilización de los programas informáticos de cirugía guiada seleccionados para realizar la planificación del tratamiento, en sus aspectos quirúrgicos y prostodónticos.
3. Elaboración del flujo digital individual de cada programa informático de cirugía guiada seleccionado.

MATERIAL Y METODOS

4. Análisis de los resultados virtuales obtenidos y evaluación de las imágenes obtenidas, respectivamente:

4.1 Análisis de los resultados obtenidos del volumen óseo y de su disposición tridimensional.

4.2. Análisis de la medición virtual de la densidad ósea.

RESULTADOS

1. GALIMPLANT 3D EXACTO

1.1. DESCRIPCIÓN

El programa informático Galimplant 3D ® dispone en su menú inicial, antes de cargar la información del paciente, de un separador *Archivos* para gestionar (por ejemplo, añadir, borrar, imprimir), los pacientes, fabricantes, marcas de implantes y aditamentos.

El programa informático presenta en su panel inicial un menú del paciente con el separador *General, 2D, 3D, Navegación, Implantes, Guías y Cámara*. En el separador *General*, el tipo de vistas en la pantalla es configurable. Están disponibles las vistas axiales, de sección, panorámica y 3D. Se pueden trazar las curvas panorámicas, importar un archivo STL, hacer la orientación del volumen (con dos métodos disponibles, el de dos puntos axial y el de la línea de banda). Con el botón *Guardar* podemos exportar el archivo DICOM. Existe un botón *Informes* para imprimir una lista de implantes, secciones, modelos y medidas.

En el separador *2D* tenemos la opción de visualizar u ocultar las líneas de sección, visualizar la Panorámica con el aspecto “Raysum Lineal”, “Raysum MIP” o gestionar el brillo y el contraste por medio de la relación de sus dos variables (ventana y nivel). Se hacen medidas en cualquier dirección, con visualización inmediata del resultado en milímetros. También se mide en mm² un área rectangular o circular que pretendamos evaluar, con información de valor del HU y el desvío standard del HU.

En el separador *3D* se puede usar el botón de *Visualización del Implante en Sección*, y el del *Modelo 3D* (dónde se puede ejecutar la segmentación). Se puede trabajar con los botones de *Volume* y del *MIP*. La herramienta *Bisturí 3D* permite cortar zonas de artefacto. En la pantalla

RESULTADOS

Canales se puede trazar el nervio, y en la pantalla *Seno* se puede trazar el seno maxilar y simular su elevación.

En el separador *Navegación* podemos controlar las visualizaciones de los cortes axiales, de sección y panorámicos.

En el separador *Implantes* tenemos botones para añadir un implante, crear una secuencia de colocación de implantes, verificar sus propiedades, calcular la densidad ósea alrededor del implante (incluso usando para eso una vista 3D), mostrar posibles colisiones entre implantes en un modelo 3D, mostrar la extensión de un implante, aditamentos y coronas. En la sección *Navegación* se puede seguir el implante en los cortes de un modelo 3D, seguir sólo la sección del archivo DICOM en el modelo 3D, o hacer un corte específico del modelo 3D.

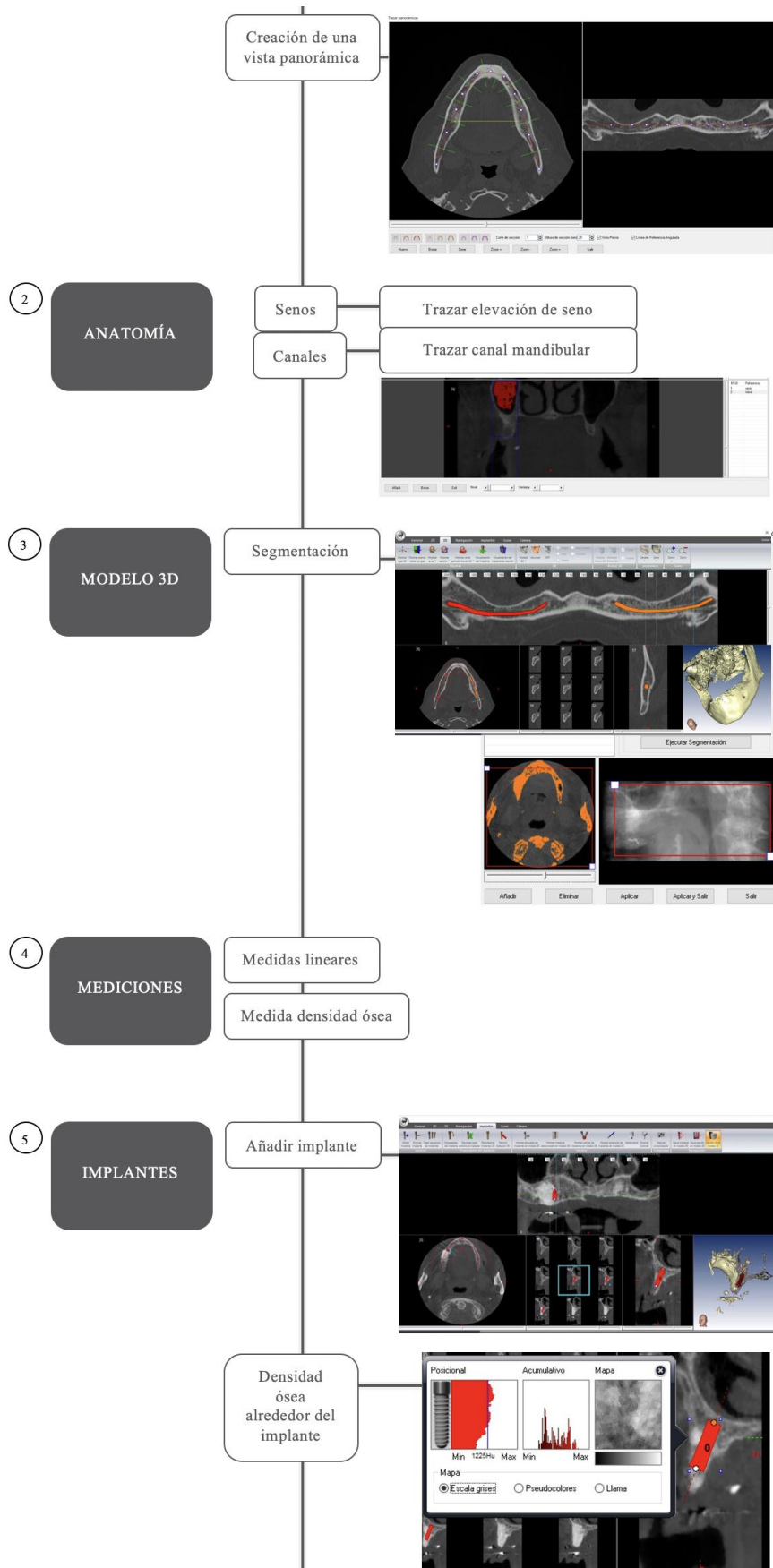
En el separador *Guías Quirúrgicas* hay opciones para visualizar las guías, hacer su configuración, y revelar una colisión entre fresas.

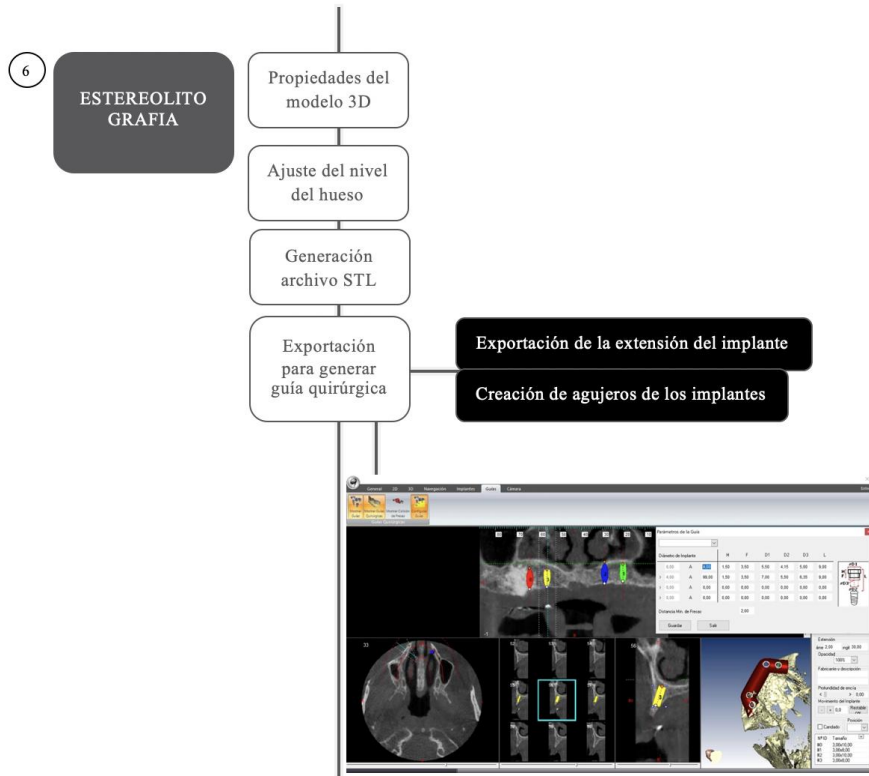
En el separador *Cámara*, se pueden utilizar las vistas de los ejes (x, y, z), vista Izquierda y derecha, vista de sección, del implante, axial, trasera del implante, trasera axial, y vista bisturí. Con el botón *Video* se puede hacer una grabación en tiempo real de nuestro plan de tratamiento. En la sección *Captura de Imagen*, podemos grabar imágenes en 2D o 3D, y observarlas en un catálogo en separado, que tiene la posibilidad de exportación.

1.2. FLUJO DE TRABAJO



RESULTADOS





2. DTX STUDIO IMPLANT

2.1. DESCRIPCIÓN

El programa informático DTX Studio Implant ®, en su pantalla de presentación permite importar o exportar un archivo DICOM y gestionar los registros clínicos de los pacientes. Una vez seleccionado el paciente, presionando en el botón *3D Planning*, podemos elegir el archivo DICOM del paciente o importar un nuevo. Los separadores visibles son *DTX Studio Implant*, *Patient*, *Prosthetic*, *Diagnose*, *Plan*, *Finalize*, y *Implant* (este sólo visible cuando editamos las propiedades de un implante colocado).

A la derecha del espacio de trabajo está disponible una barra vertical, siempre visible, con el *Interaction Mode* (dónde podemos interactuar con las imágenes de la zona de trabajo, hacier rotaciones y zoom); el *Tools* (tiene la opción *Level/Window* que se puede personalizar, *X-Ray Thickness* y *Snapshot*, una función para exportar las imágenes). Es posible cambiar el espacio de trabajo, utilizar la función *Snap Reslice* y *Set Focus*. En el

RESULTADOS

Editor de visibilidad, los objetos generales (modelo del paciente, guía radiológica y medidas), los objetos de planificación (implantes, tornillos de fijación o mangas) los objetos quirúrgicos (férula quirúrgica) y los objetos de segmentación (vistas “cross sectional”, axial, sagital, coronal y panorámica) se pueden visualizar u ocultar del espacio de trabajo.

Los cortes virtuales se desplazan con la rodilla del ratón o con el deslizador lateral.

En el separador *Patient*, presionando en el botón *Edit Patient*, se define el VOI (volumen de interés) y el Isovalue (a través del control del deslizador en la pantalla), indicando la zona correcta de interés en las vistas disponibles (coronal, axial, sagital y 3D viewer). En la vista 3D viewer y perpendicular, tenemos total control de la rotación (360°), controlado por la rodilla del ratón. Se selecciona el tipo de maxilar a tratar. A continuación, se ajusta la orientación del archivo escaneado y se define el plano oclusal mediante los controles verticales.

Están disponibles otros botones, como el *Reslice Curve*, *Transfer Functions* (filtros de combinación ósea, de tejidos blandos, y de raíces de los dientes), opción de extracción de dientes y herramienta para borrar artefactos. En esta última opción, en la vista 3D viewer, la herramienta *Patient Mask* usa la función *Cut* (permite una limpieza más minuciosa de los artefactos, que se hace dibujando un polígono sobre la parte del volumen de un modelo a remover, y todo que esté dentro del polígono dibujado se ocultará); función *Isolate* (indica la parte del volumen del modelo que se pretende presentar, y todo lo que esté fuera del polígono se ocultará); función *Add* (permite añadir de nuevo una parte del volumen que se ha retirado de la estructura, solamente con el efecto de cambio de color).

La herramienta *Erase Bone Artifacts* tiene como opción el botón *Magic Eraser*, donde se quita la máscara en una región más grande o más

RESULTADOS

pequeña, según el tamaño del pincel elegido. Usando el botón *Eraser*, se retira con un pincel de parte activa en forma de bola, toda o parte de la máscara (de acuerdo con el tamaño del pincel), alrededor de la posición que se selecciona. Además, se puede utilizar la función *Disable Mask*, que alterna entre el modelo completo del paciente y la selección especificada, y mantiene la parte mayor. Con la herramienta *Patient Mask*, se ajusta la parte “ósea” mayor del modelo en lugar de cortar todas las partículas más pequeñas que obstaculizan la visualización.

En el separador *Prosthetic* podemos añadir un escaneado del modelo de escayola o intraoral). A través de la función *SmartFusion* se puede añadir el escaneado al modelo del paciente, haciendo un alineamiento entre los dos. A continuación, está disponible la posibilidad de incorporación de un escaneado del modelo antagonista, incorporación de un encerado de diagnóstico y el botón *SmartSetup*. Esta herramienta calcula de una forma automática la colocación de dientes virtuales sobre la base de un escaneado de la situación dental existente, teniendo en cuenta el tamaño, la forma y la posición de los dientes presentes, de los dientes reflejados, el tipo de diente que necesita diseñarse, y un conjunto de reglas estéticas para los dientes anteriores.

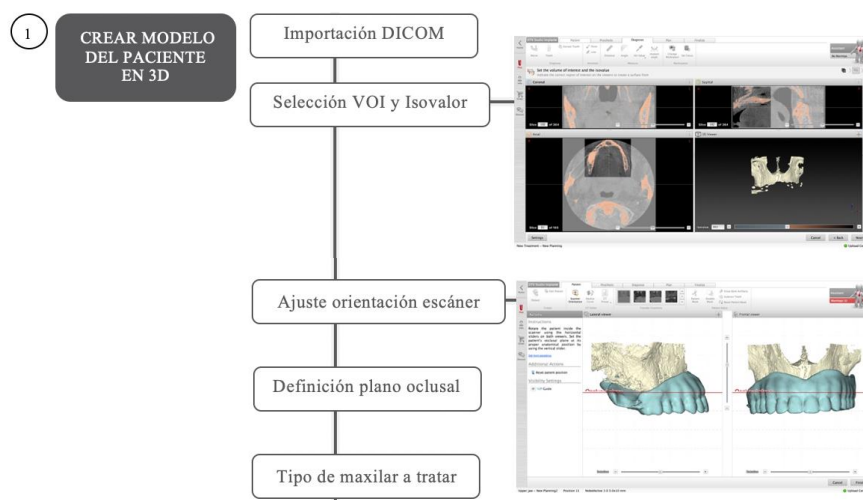
En el separador *Diagnose*, una vez anotados los dientes, es posible extraerlos del modelo del paciente de manera individual (con la función *Extract tooth*, quedando el diente extraído de color rojo) o extraerlos todos en simultáneo (función *Subtract Teeth*). Cuando se añaden nuevas anotaciones de dientes o se editan dientes después de que haya tenido lugar alguna sustracción, tenemos de realizar la acción *Subtract* de nuevo para aplicarla también a los dientes que se han añadido o editado recientemente. Se traza el nervio y también se miden distancias, ángulos y el *HU value* (notar que el valor de la medición es en valores gris y no en valores HU).

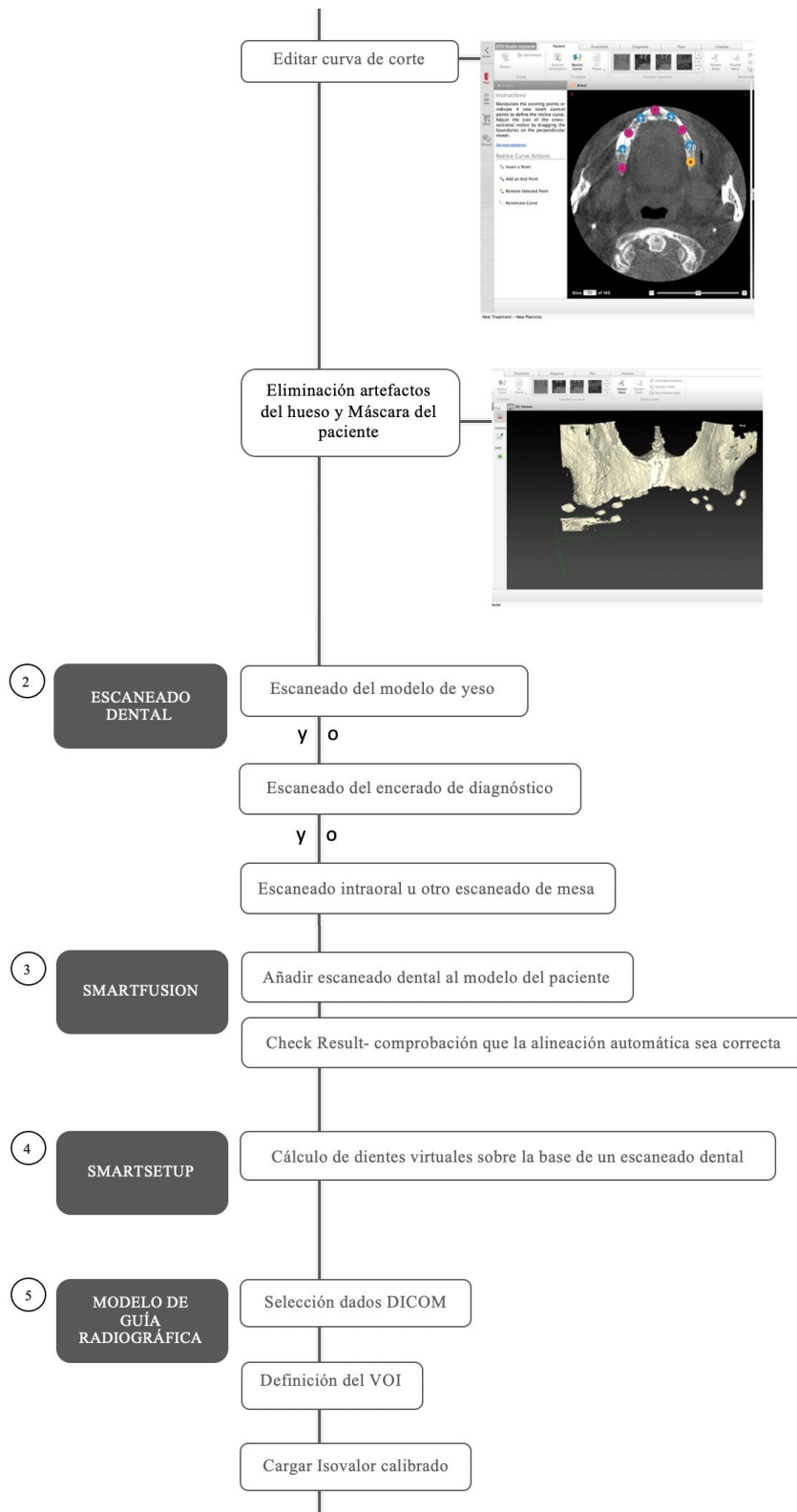
RESULTADOS

En el separador *Plan* se planifica la colocación de un implante, de un pilar, o de un tornillo de anclaje. Al añadir más que un implante, se pueden paralelizar automáticamente. Cuando se planifica un implante específico, y presiona sobre él, en una vista del espacio de trabajo, se torna visible un separador con el nombre *Implant* y el número del diente anotado correspondiente al implante. Es posible hacer un resumen de todas las funciones que el software permite para configurar ese implante, incluso el tipo de cirugía a usar para la colocación de ese implante (Freehand, Pilot 1.5 o Pilot 2.0).

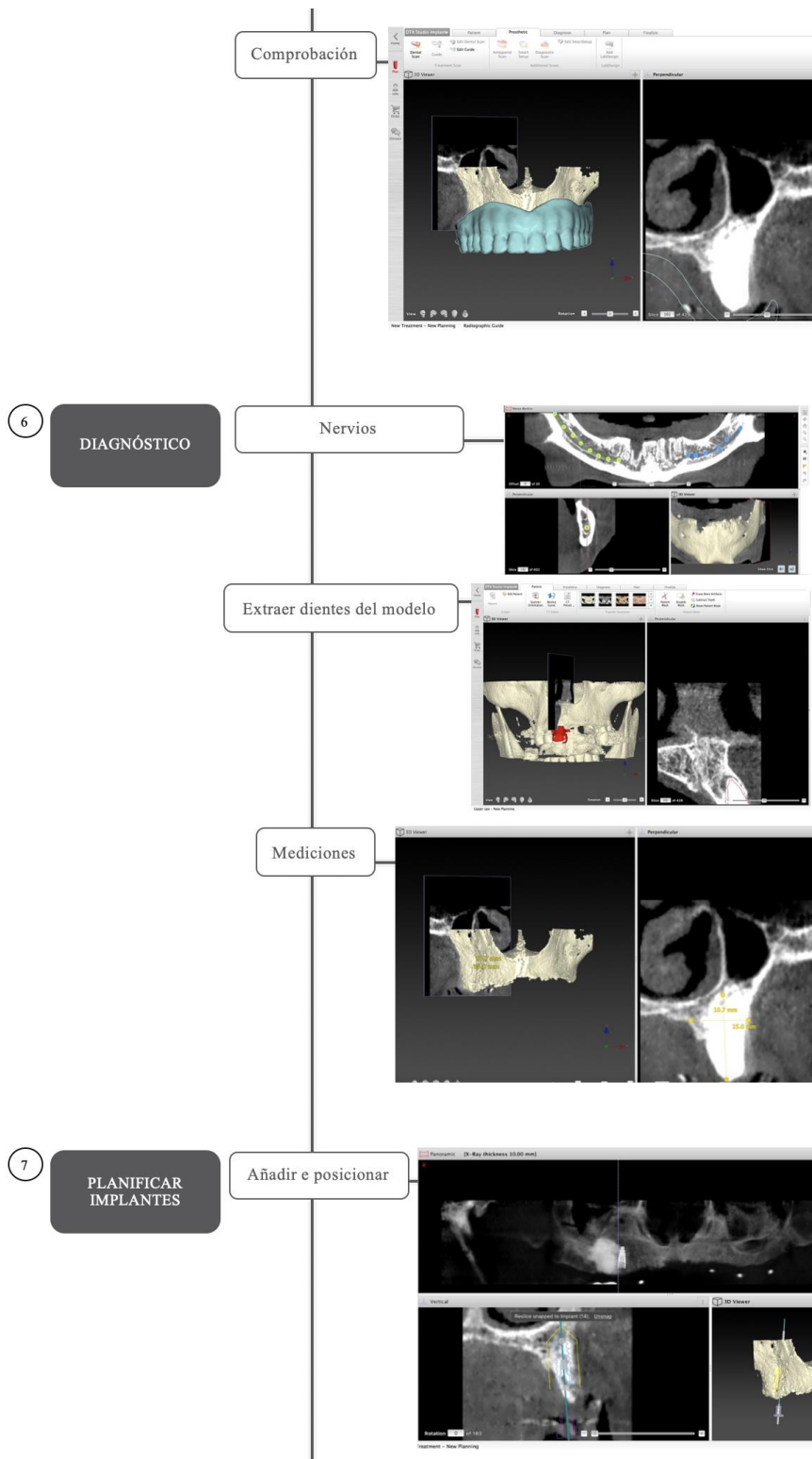
Por fin, en el separador *Finalize* se crea una férula quirúrgica ayudando a realizar una cirugía exactamente como lo habíamos previsto. Se puede crear una férula quirúrgica virtual, opción importante para hacer una inspección antes de la aprobación y su pedido al laboratorio. Un botón usado para la inspección de los implantes es el *Snap to Implant*, que permite visualizar el hueso disponible alrededor del implante colocado (a través de una rotación de 360° sobre su eje).

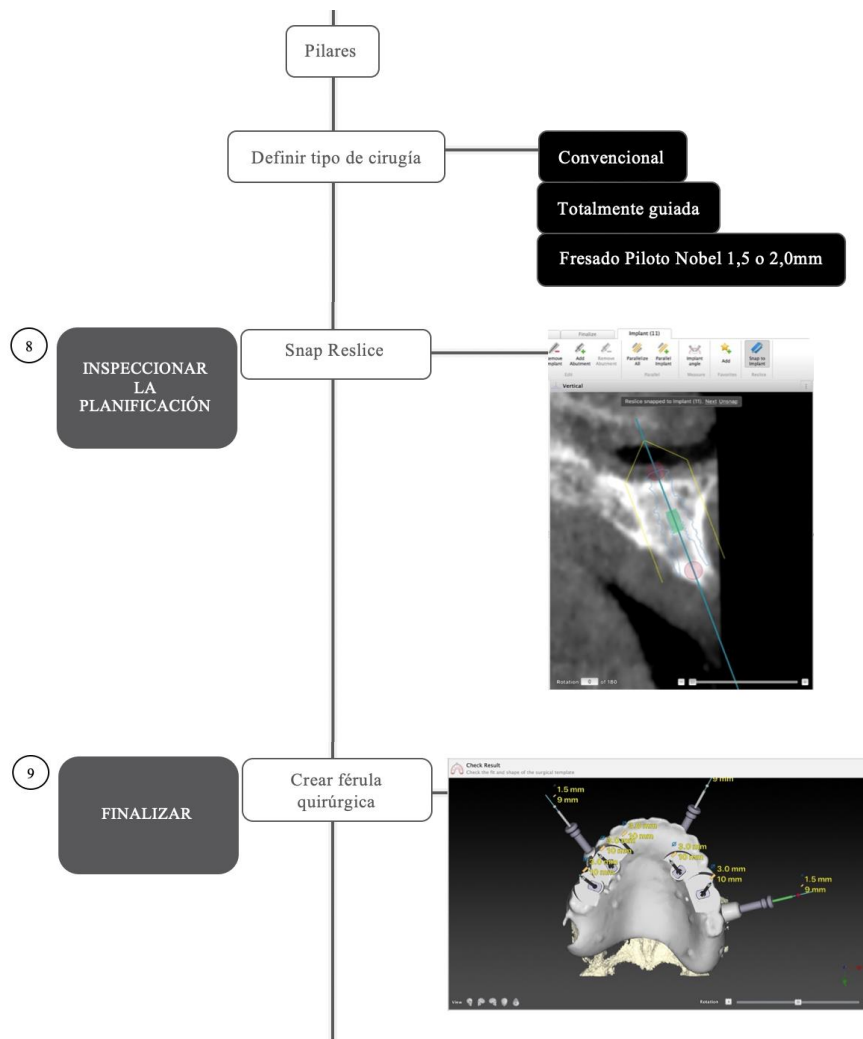
2.2. FLUJO DE TRABAJO





RESULTADOS





3. CODIAGNOSTIX

3.1. DESCRIPCIÓN

El software coDiagnostix® tiene disponible una planificación de implantes que es compatible con dos flujos de trabajo de la propia marca: un flujo de trabajo analógico, usando el sistema gony X y sus accesorios, y otro flujo de trabajo digital, usando herramientas de fabricación 3D.

El espacio de trabajo tiene 5 separadores con las siguientes opciones: *Paciente*, *Plano*, *Objeto*, *Vista* y *Extras*. Existe también una barra de herramientas, con 7 botones que acompañan todo el flujo de trabajo de la planificación. Son los botones *Alinear los Sistemas de Coordenadas del*

RESULTADOS

Paciente, Editar la Curva Panorámica, Añadir los Canales del Nervio, Adicionar Implante, Editar las Mangas, Adicionar la Digitalización del Modelo, y Adicionar la Guía de Perforación del Modelo.

Los cortes virtuales pueden ser visualizados con la ayuda de la rodilla del ratón y el deslizador. Para planificar un caso bimaxilar, es necesario realizar dos planos por separado.

En el botón 1 (*Alinear los Sistema de Coordenadas del Paciente*), con la vista 3D y por medio de un sistema de colores, se hace coincidir el plano verde con el plano oclusal y el plano rojo con el plano sagital. En el botón 2 (*Editar la Curva Panorámica*) se abre una ventana para su edición, una vez que ya existen 5 puntos básicos pre-marcados, ajustables para la confección de la curva. No es posible eliminar los 5 básicos, pero se pueden añadir más puntos. En el botón 3 (*Añadir los Canales de Nervio*) es donde seleccionamos el canal nervioso que pretendemos detectar. Se define el punto de entrada del foramen mentoniano y el punto de salida del foramen mandibular. Se pueden definir puntos adicionales. Presionando en el botón *Detect*, el software detectará automáticamente el canal nervioso.

Cuando seleccionamos el botón 4 (*Adicionar Implante*) se abre una ventana con la información de los fabricantes y series del modelo del implante. Aquí es posible usar un filtro avanzado para apenas tornar visibles los implantes filtrados por determinada longitud, diámetro, fabricante o grabados como favoritos. Se asocia en seguida la posición del diente al implante a ser colocado.

El botón 5 (*Editar las Mangas*) permite una selección de la manga de acuerdo con los modelos de mangas existentes, su diámetro, geometría y posición. El botón 6 (*Adicionar la Digitalización del Modelo*) abre una ventana que permite la importación de una digitalización de modelo, segmentación de un archivo DICOM de un paciente o de una orden de

RESULTADOS

DWOS Connect. El botón 7 (*Adicionar la Guía de Perforación del Modelo*) permite diseñar una guía, siendo fundamental usar una digitalización de superficie.

En paralelo con el menú principal existen botones accesorios, como el del *Alineamiento de las Vistas con el Implante Seleccionado*, que facilitará el correcto posicionamiento del implante, una vez que se alinea las vistas con el eje del implante, permitiendo rotar 360° a su vuelta, en la vista tangencial. Otro botón de opción es el *Localizador* que centra todas las vistas en un punto definido, bastando presionar con el ratón. Este botón puede igualmente ser utilizado para añadir implantes sólo con un doble clic en la posición deseada, en la vista pretendida. El botón *Líneas de referencia 2D* hace con que todas las vistas excepto la vista 3D estén marcadas con una etiqueta de color en la barra de título. Esta etiqueta indica el color de la línea de referencia o del plano de referencia respectivos en las vistas. El botón *Move and Turn* permite mover las vistas de espacio de trabajo con la ayuda de los botones del ratón.

En el separador *Objeto* se puede añadir un implante, un diente, una digitalización de un modelo, un modelo 3D, un aumento óseo, nervios, medidas lineares e incluso una guía quirúrgica digital. Aquí también se editan la curva panorámica y las segmentaciones.

El separador *Vista* agrega la posibilidad de observar u ocultar los indicadores de orientación, las líneas de referencia 2D y 3D, los objetos insertados del separador anterior, mover y rotar las vistas, hacer zoom, configurar la escala de grises y la medición de la densidad.

El separador *Extra* permite gestionar las imágenes de cada paciente, hacer una captura de pantalla, editar un sistema de mangas personalizado, dibujar un implante y editar las definiciones generales del programa.

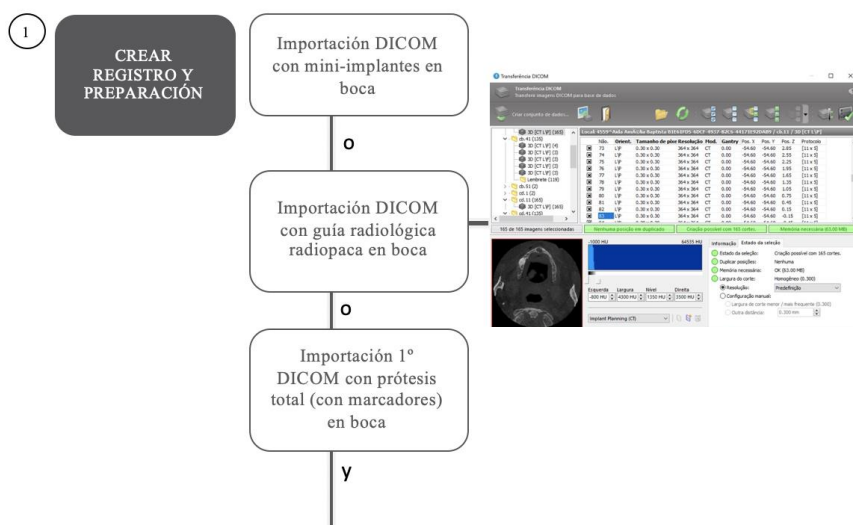
En el borde inferior del espacio de trabajo existen 4 botones que

RESULTADOS

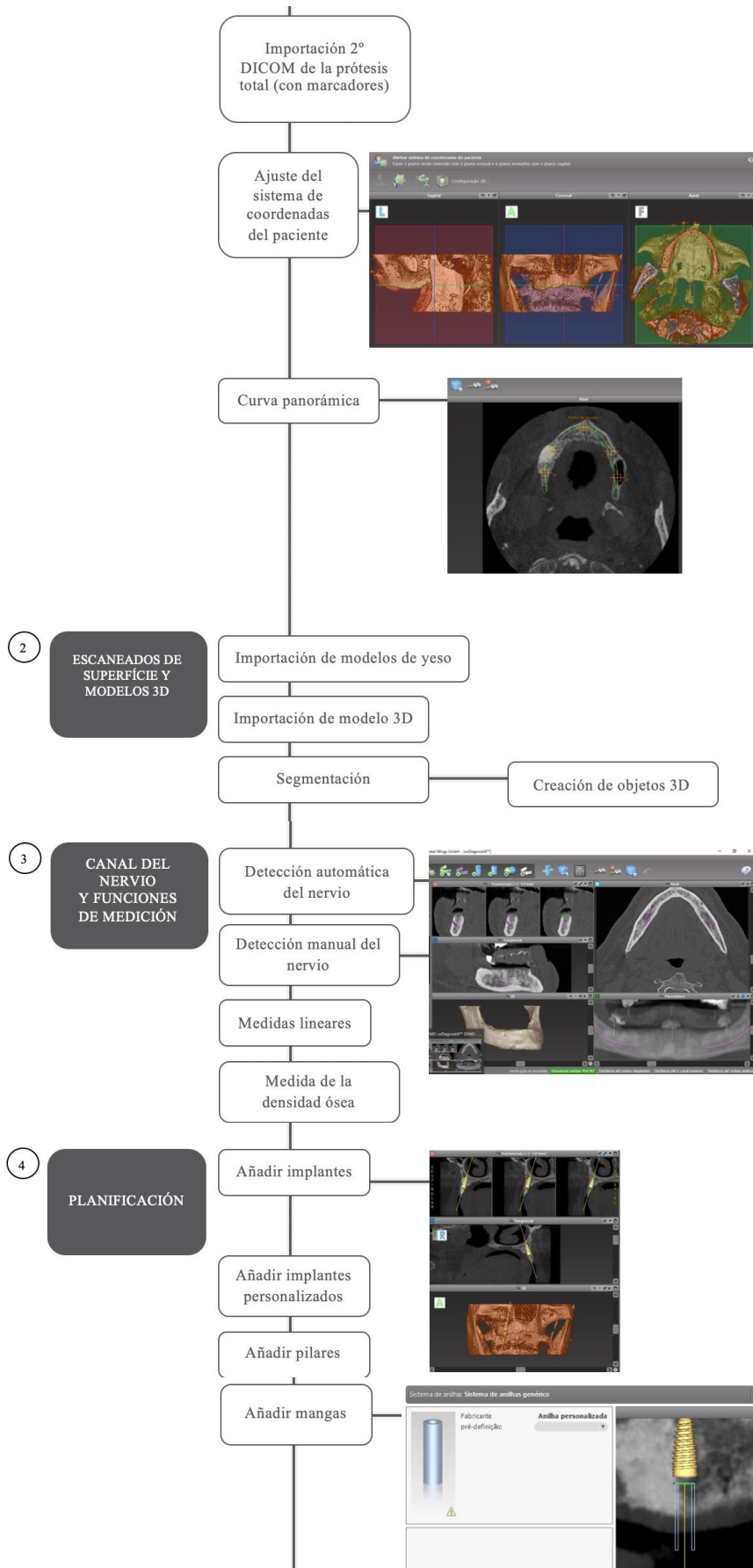
resumen la opción de verificación de un implante (*Densidad Media en HU*, *Distancia Hasta Otros Implantes*, *Distancia Hasta Otras Mangas de la Guía* e *Distancia Hasta el Canal Nervioso*, cambiando su color de verde a rojo, si la distancia es inferior al valor mínimo de seguridad predeterminado).

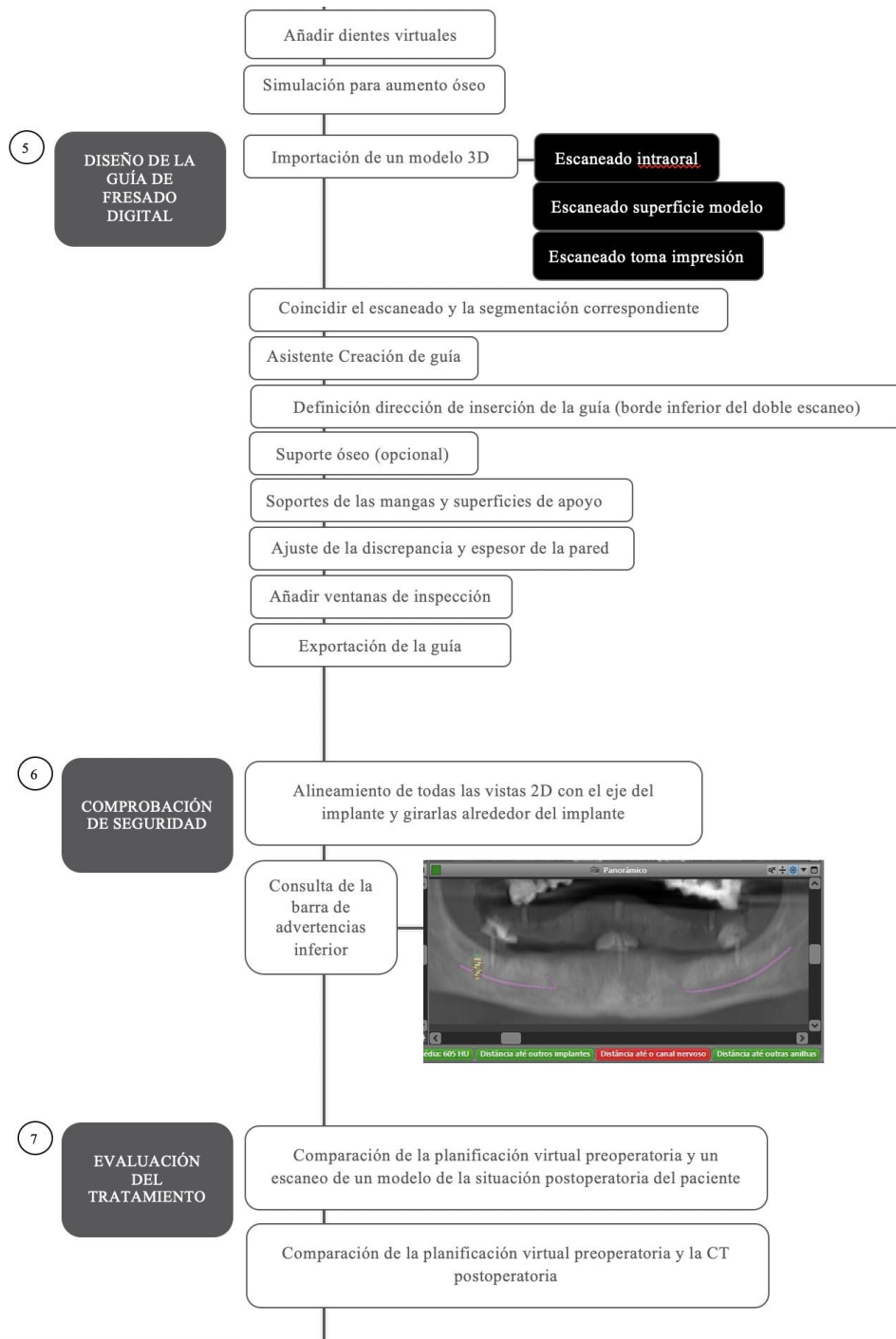
El árbol de objetos a la izquierda de espacio de trabajo informa sobre la descripción de las posiciones de los dientes (número, implante y manga correspondiente para la guía), la segmentación de la mandíbula o del maxilar, los tornillos de fijación, las guías quirúrgicas e implantes temporales. La segmentación se hace con la ayuda de las vistas axial, sagital, coronal y reconstrucción 3D. Por fin, está disponible la estadística de la densidad, con su medición en tiempo real, presentadas gráficamente en una vista sagital y coronal, y también su valor (en HU) en el borde inferior del espacio de trabajo.

3.2. FLUJO DE TRABAJO



RESULTADOS





4. NEMOSCAN

4.1. DESCRIPCIÓN

El programa informático NemoScan ® forma parte de un conjunto de softwares de Nemostudio, que es una plataforma multidisciplinar en odontología, incluyendo el área de la Implantología, Ortodoncia, Cirugía

RESULTADOS

Ortognática y Estética.

El espacio de trabajo presenta los separadores *Preparación, Prótesis, Implantes, Aditamentos y Productos*. Después de importar los cortes axiales, la ventana siguiente permite especificar el umbral de densidad (en HU) para la segmentación del hueso. El programa genera un valor calculado automáticamente, que puede ser corregido. Simultáneamente, otra vista muestra una previsualización de la malla correspondiente a ese umbral de densidad. Están disponibles líneas de referencia de los cortes paraxiales (corte inicial, activo y final). Si fijamos los extremos (círculos) con el ratón podemos variar la anchura de los cortes transversales, siendo esa distancia siempre registrada en la parte superior derecha de la vista de cada corte paraxial. Pulsando con el botón izquierdo del ratón en cualquier punto del corte, los otros cortes visibles en el espacio de trabajo se cambiarán de una forma automática, y se ubicarán en la posición correspondiente al último punto que pulsamos con el ratón.

En la vista 3D, podemos utilizar el modo volumétrico (*Volume Rendering-VR*) o el modo de malla o de superficie (*Mesh Rendering-MR*). El VR representa cada valor del volumen con un color y un nivel de transparencia correspondiente a la densidad del tejido. Todos los valores del volumen están representados en la vista, y si algunos no se ven, es porque son transparentes (el hecho de que todos los puntos estén marcados gasta más recursos al ordenador). El modo MR hace que sólo se representen los puntos del volumen que tienen una densidad fija o umbral determinado. El resultado final es que las superficies están representadas y los volúmenes no.

En el separador *Preparación* tenemos cinco opciones disponibles: (1) la elección del tipo de caso (bimaxilar, maxilar o mandibular); (2) el registro de la férula radiológica (se puede cargar o segmentar) y/o el

RESULTADOS

registro del modelo. Los marcadores de la férula se pueden detectar de forma automática. Si no, manualmente tendrán de ser reconocidos un mínimo de 5 marcadores. La importación del modelo de escayola implica la coincidencia de su forma, marcando puntos reconocibles en el modelo y en la imagen radiológica del paciente, a través de las cúspides, por ejemplo. Se marcan un mínimo de 4 puntos, no concentrados en una región pequeña. Existe la opción de hacer un ajuste fotográfico y de generar encía. Con esta opción se hace una asignación de una o más fotos intraorales del paciente sobre el modelo registrado anteriormente. El marcado de los puntos es igual a la asignación del modelo.

Sólo es necesario una fotografía para hacer una foto 3D. Sin embargo, se puede mapear más de una foto creada en diferentes proyecciones para lograr una mayor fidelidad. La herramienta *Editar Tejido* permite corregir el color y el brillo de la foto insertada; (3) una vez que el paciente no siempre estará correctamente posicionado en el momento de la realización de la tomografía computarizada, en este paso es posible realizar el realineamiento del volumen para el correcto preparo de los cortes. Se pueden cambiar el posicionamiento de los maxilares, de las dimensiones del VOI, y del panel de orientación de las fotos; (4) se elige la arcada para trazar la curva panorámica; (5) se puede añadir un nervio o un seno, de acuerdo con la arcada seleccionada. Se hace la segmentación del seno maxilar con el cálculo del volumen limítrofe, y luego se determina el punto semilla (es un punto interior en el seno maxilar que sirve como semilla para detectar el volumen del seno). El algoritmo de búsqueda comenzará a partir de este punto, midiendo su densidad en unidades Hounsfield y detectando aquellas regiones que tengan una densidad similar a de la atmósfera especificada. Estas regiones se segmentarán como una nueva malla 3D en un volumen correspondiente al seno). Una aplicación

RESULTADOS

práctica es permitir la previsión de la cantidad de biomaterial a usar en una elevación de seno.

El programa informático ofrece una gestión de las propiedades de las estructuras anatómicas, que es el *Panel de Mallas*. Permite editar las características de cada volumen 3D existente, bien como se lo pretendemos visible o no. Podemos acceder a cada estructura anatómica a través del panel, en que cada estructura tiene volumen y tejido, o entonces solamente tejido, de acuerdo con los datos de cada caso clínico. Los parámetros que pueden ser editados son varios, tanto en las propiedades del tejido, como en su segmentación. La opción *Generando Encía* necesita del valor del ángulo de inserción para construir la encía, y se lo damos correctamente, la malla correspondiente es generada de forma automática.

La edición de las mallas en 3D están dependientes de su composición, que son una serie de triángulos, que en su totalidad componen la malla. Así, cuanto mayor la cantidad de triángulos, mejor será la resolución y su resultado, y mejor la calidad de la imagen para la evaluación clínica. Está disponible una pantalla con opción de edición de la malla, que permite de una manera sencilla la extracción de piezas dentarias y obtener la malla resultante, usando el botón *Create New Mesh Using Selected Cell*, seleccionando para eso previamente una porción de la malla 3D correspondiente a la pieza que pretendemos extraer. Seleccionando de igual modo la casilla de verificación *Defectos de la Malla*, el programa detecta y resalta a rojo las regiones que pueden incluir posibles defectos en la malla 3D, como agujeros, plegamientos e intersecciones, que en seguida se pueden reparar.

La malla puede ser alienada, por la importación inicial de un modelo de escayola (por vía de un archivo STL o DICOM). Se alinea la malla del modelo importado con la imagen de la malla creada. Están disponibles tres

RESULTADOS

formas de alineamiento: por puntos, por superficie o manual. Se usan puntos de alineamiento para hacer coincidir las dos imágenes. El botón *Preliminary Matching* verifica si el alineamiento es correcto, a través del valor de “Error” (RMS), teniendo en cuenta que el valor aceptado de error límite es de cerca de 0,5 de la marca. De cualquier manera, este error tiene de ser verificado con las vistas radiológicas.

La opción de *Photo Mapping* sobre el modelo permite visualizar la encía del paciente de una manera realista, uniendo la asignación de una o más fotos al modelo, mediante los mismos conceptos de alineamiento anteriores.

La creación de máscaras es una herramienta muy útil para hacer la segmentación de una porción de una malla, obtener así una o varias mallas resultantes de esa segmentación, y construyendo una máscara. Se define una caja delimitadora (*Bounding Box*) y de seguida se edita la máscara, antes de generar la estructura anatómica. Se da un nombre y una etiqueta, y se graba la segmentación creando dos tipos de tejido posibles: *Tejido Limite* o *Tejido de Contorno*. El primero crea un tejido usando una densidad del umbral especificado pelo clínico. El segundo apenas crea el tejido que contorna el área segmentada, pudiendo definir los mismos parámetros utilizados en el tejido límite, sin modificar la densidad del umbral.

La herramienta *Extraer dientes* está disponible como una opción específica, a pesar de la posibilidad de hacerlo con la opción de *Crear Máscara*. Es necesario, en primero lugar, segmentar el diente que pretendemos extraer. Seleccionamos la malla donde se va a hacer la segmentación, posicionamos y alineamos la malla en la vista 3D y en el odontograma marcamos el diente a segmentar. A continuación, editamos la corona del diente, con el contorno de la corona echo con la marcación de

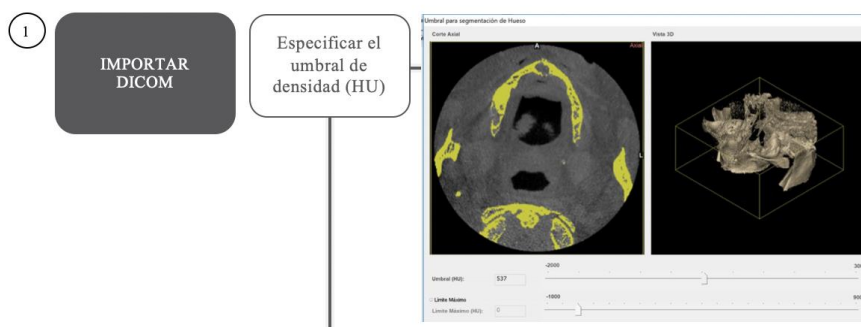
RESULTADOS

una serie de puntos, delineando su margen gingival.

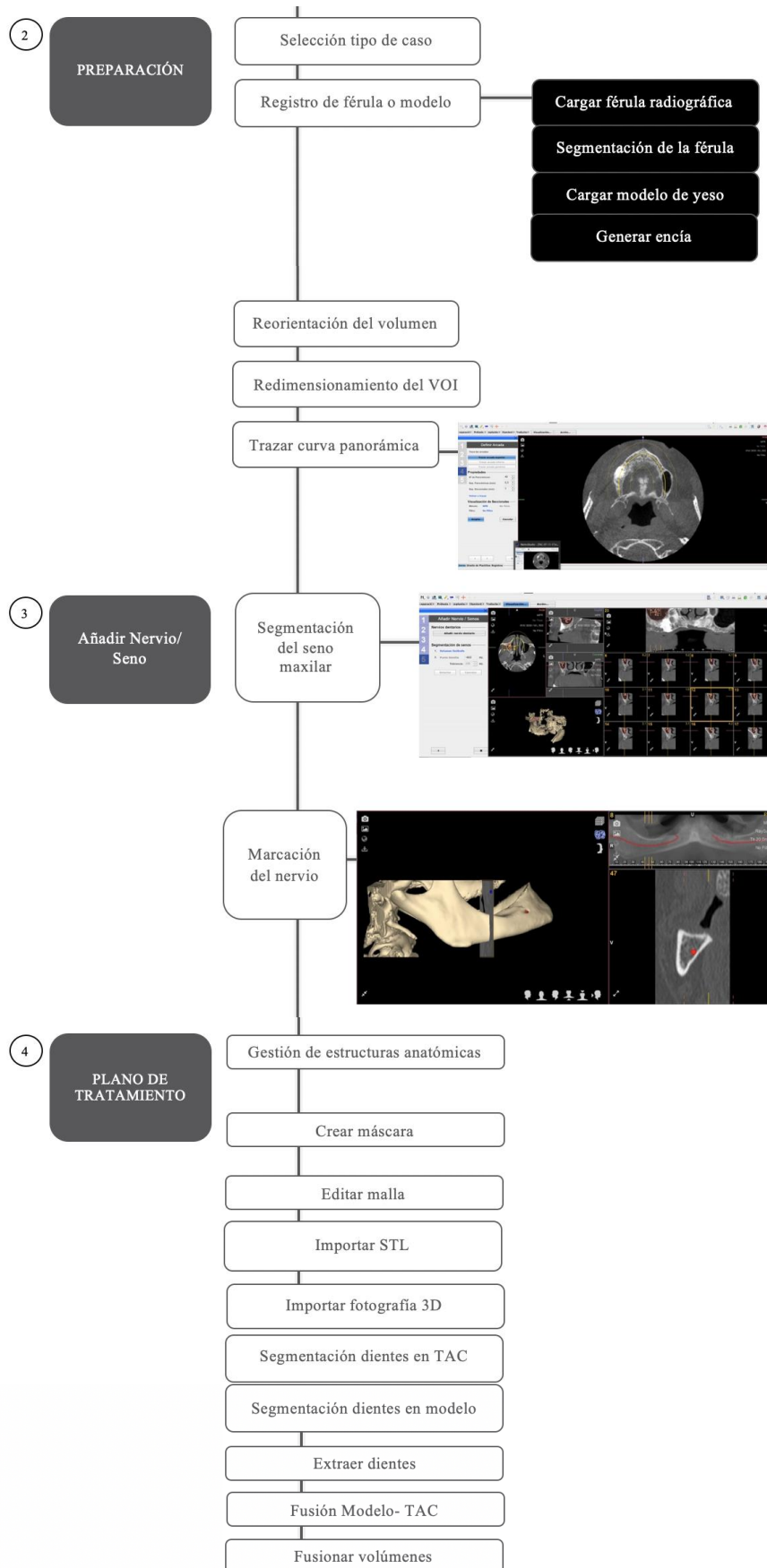
Después de finalizada su segmentación, hay que segmentar la raíz del diente, presionando en el botón *Segment Teeth in CT*, haciendo la identificación del diente segmentado y buscándolo en el corte axial correspondiente (donde el contorno de la corona segmentada se muestra en su forma completa) y encontrar la raíz de esa corona. Si el diente es multiradicular, se debe trazar el perfil de la raíz en los cortes en que las diferentes raíces están visibles. Por fin, en la opción *Reconstruction* se crea una nueva malla para la raíz y se combina la malla de la corona previamente creada con la malla de la raíz. Ahora es posible hacer una simulación de una extracción de lo diente segmentado. Se hace clic en *Teeth to Extract* en la sección *Define Teeth* y de seguida en *Calculate Structure*. Se construye una malla (color verde) correspondiente a la pieza de la imagen radiográfica.

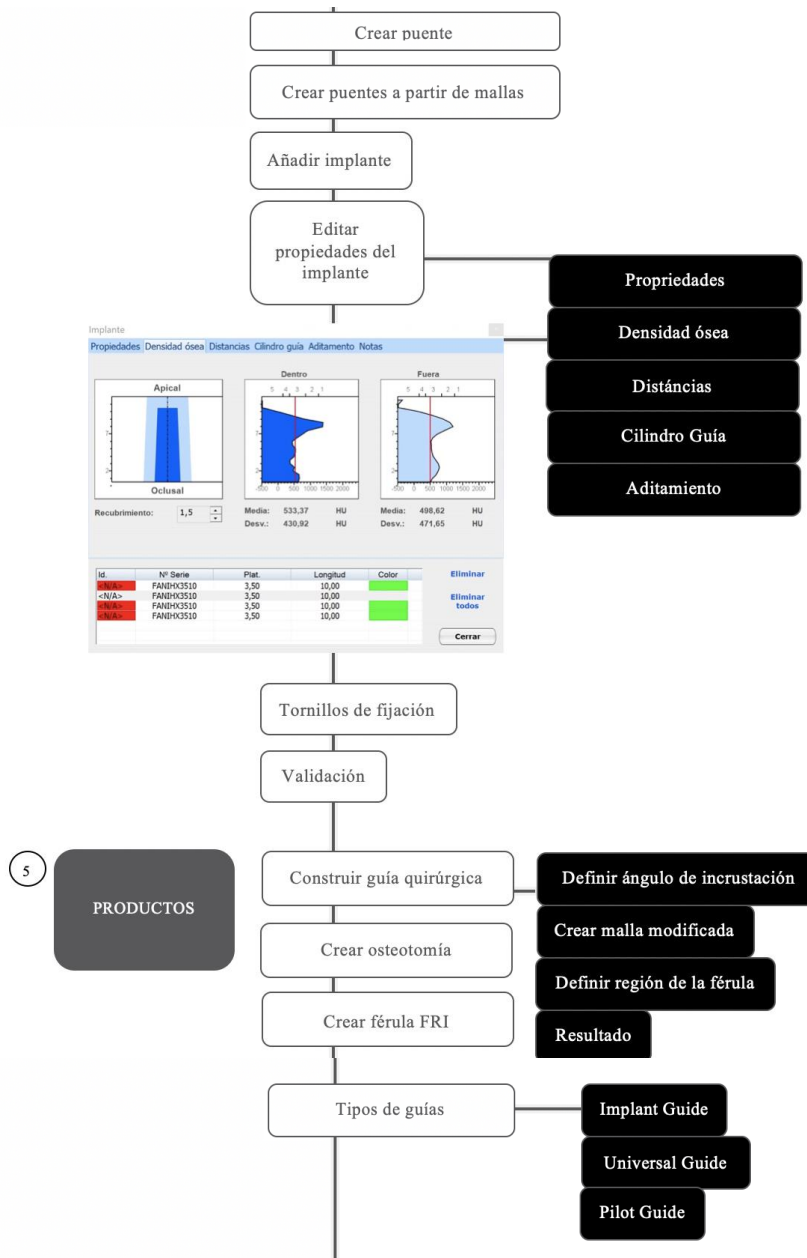
Para poder eliminar los artefactos de un volumen, el programa informático dispone de una herramienta más precisa para eso, que es la “*Fusión Modelo- TAC*”. Ocurre una fusión de los dos volúmenes (la vista 3D del DICOM y el modelo de escayola) resultando en una nueva malla sin artefactos, integrando el área limpia del modelo en el volumen 3D correspondiente al hueso del paciente.

4.2. FLUJO DE TRABAJO



RESULTADOS





5. SIMPLANT PRO

5.1. DESCRIPCIÓN

Simplant Pro ® es un programa informático que utiliza un sistema de segmentación de imágenes, transferidas de un escáner CT o CBCT a través de un archivo DICOM y que hace el procesamiento de la información de estas imágenes. Permite la planificación previa para la colocación de implantes. El programa presenta un espacio de trabajo en que a la izquierda

RESULTADOS

es visible un menú de funciones que es un resumen de todo lo que el software puede hacer.

Este menú incluye las opciones *Simplant Start*, *Segment*, *Prepare for Planning*, *Plan Implants*, *Order Simplant Guide* y *Communication*. El programa muestra cuatro pantallas de visualización, que corresponden a 3 vistas 2D y una vista 3D. Alrededor de cada una de las cuatro ventanas de las vistas (de la sección transversal, axial, panorámica y 3D) se puede ver un borde de color. En las tres ventanas de las vistas 2D se observan líneas de color. Cada una de estas líneas representa una vista. Por ejemplo, la pantalla de la vista de sección transversal tiene un borde azul y es visible como una línea azul en la ventana de la vista axial y en la ventana de la vista panorámica.

En *Simplant* el clínico tiene que crear en primero lugar un modelo 3D a partir del archivo DICOM, usando el separador *Segment*. La segmentación puede ser automática o manual. La opción automática ocurre sin la utilización de las herramientas de segmentación habituales, y se produce con la ayuda de una herramienta de visualización, la *Advanced Volume Rendering*, proporcionando una visualización inmediata de calidad. Cuando se importan las imágenes DICOM en *Simplant*, se genera de forma automática el *3D Thresholding*. Se puede cambiar el valor del umbral, por ejemplo, para visualizar los tejidos blandos. La herramienta de *Clipping* puede ser usada para quitar los dientes superiores a la imagen y observar el plano oclusal de los dientes mandibulares. La herramienta de *Transparencia* puede ser usada para visualizar las estructuras anatómicas o implantes planificados, dentro del hueso. La segmentación manual puede ser obtenida con el asistente de segmentación, definiendo el tipo de estructura que se pretende segmentar: hueso, diente o prótesis. La remoción de los artefactos puede hacerse con la tecla izquierda del ratón, dibujando

RESULTADOS

un círculo alrededor del área que se pretenda borrar, y de seguida soltando la tecla para finalizar el procedimiento. El modelo 3D puede ser separado en dos, un para el hueso y otro para la prótesis. La malla que creamos puede ser duplicada, y en la creación del modelo 3D, con la ayuda del botón *Boolean Operations*, las mallas pueden ser relacionadas o trabajadas en separado (una para la prótesis, otra para un diente, o utilizadas para casos de postextracción).

En el separador *Prepare For Planning* está disponible el asistente para hacer una técnica de doble escaneado. Después de seleccionar el archivo de datos de la prótesis y delinear su volumen, es posible delimitar la zona en que el programa informático buscará los marcadores, en lugar de buscar en todo el modelo 3D, sólo se seleccionando un área de la prótesis radiológica. Simplant coincidirá el modelo 3D de la prótesis con el modelo 3D del paciente de forma automática.

El programa permite hacer la técnica de sólo un escaneado, pero eso no se recomienda, ya que el ideal es utilizar marcadores radiográficos que aumentan la eficacia de la superposición entre los objetos y también porque es posible obtener más detalles anatómicos a través de lo escaneado de la prótesis, usando la superficie interna de ella, y creando un objeto 3D de la superficie de los tejidos blandos.

Está disponible de igual modo el asistente de escaneado óptico, donde es necesario usar dos escaneados, uno del paciente con la prótesis de escaneado, y un escaneado óptico del modelo de escayola o de un escaneado intraoral. También se puede adicionar un encerado de diagnóstico o de un modelo antagonista (u otro archivo 3D de otro software). La correspondencia entre los dos modelos 3D (por ejemplo, entre la mandíbula y el modelo de yeso) se hace con base en las cúspides y del tope de los dientes, reconociendo su geometría similar. Esta operación

RESULTADOS

no es automática, necesitando el clínico de seleccionar las cúspides en ambos los modelos 3D (un mínimo de 3 cúspides). Los restantes modelos 3D acompañan los cambios añadidos por el modelo de escayola. Se pueden adicionar fotos.

Siguiendo en la preparación, la curva panorámica puede ser trazada en la vista axial. Para el diseño del nervio, en la vista 3D, se hace clic en el punto de entrada del foramen mentoniano para continuar la visualización en la vista de la ventana 2D. La vista de sección transversal se queda de inmediato posicionada en el corte de la derecha para que el nervio se pueda trazar. En esta vista se pueden marcar los primeros puntos del nervio. El restante trazado se puede diseñar en la ventana de la vista panorámica. Sin embargo, el nervio se dibuja en cualquier vista.

La herramienta *Virtual Teeth* proporciona la creación de una curva dental, procedimiento igual a la creación de una curva panorámica. La única diferencia es que dibujamos la curva al nivel de los dientes y no del hueso, siendo los dientes colocados junto a esa curva. Pueden ser colocados uno a uno, editados en su posición de acuerdo con los 3 planos del espacio, o entonces de una forma rápida como en los casos de confección de una arcada total de dientes virtuales.

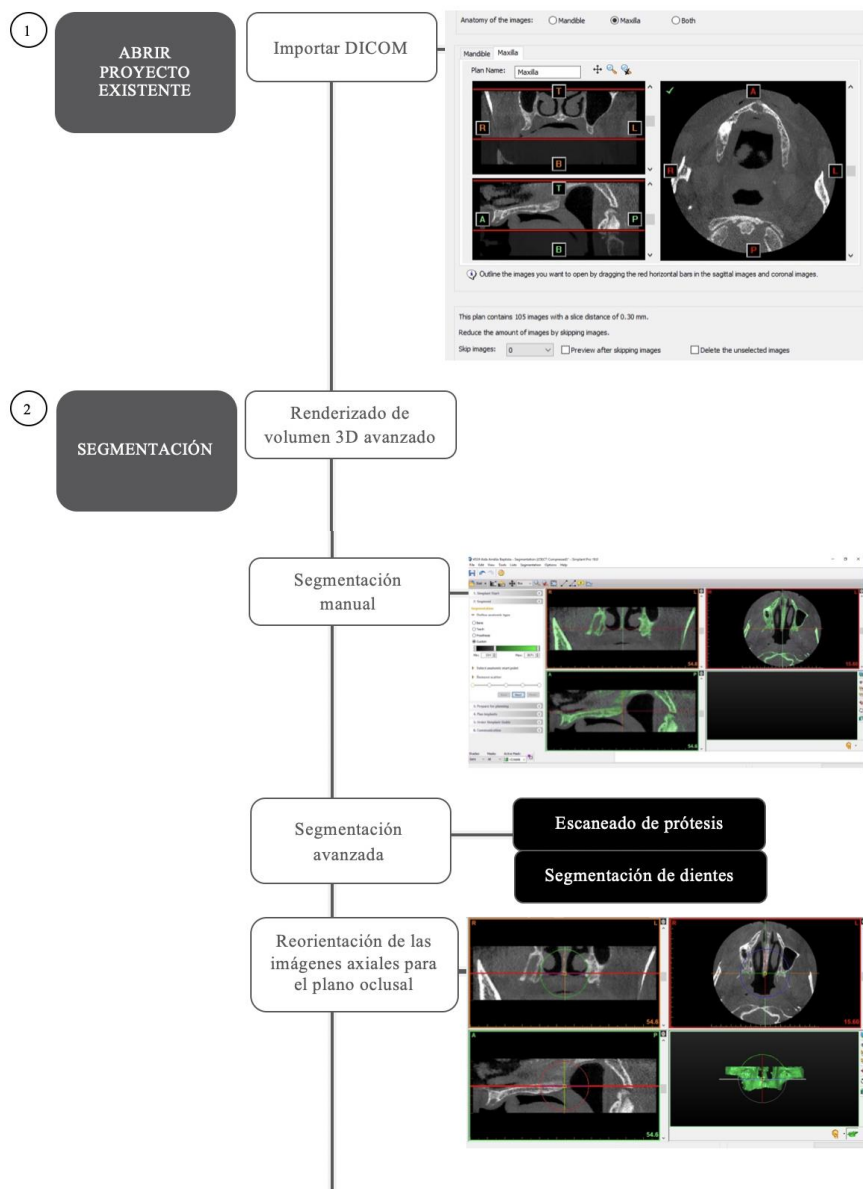
Con la herramienta *Graft Volume* se diseña un círculo en el área que pretendemos colocar un injerto, y a continuación podemos cambiar su tamaño. El software posibilita el análisis de la cantidad de biomaterial necesario (cm²).

La medición de la densidad ósea se hace usando una superficie cuadrada o elíptica. Se puede crear una línea de perfil de la densidad ósea, por la colocación de dos puntos que limitarán la sección a medir. Se utilizan varias clasificaciones de densidad ósea disponibles en la bibliografía, o entonces utilizar una totalmente configurable.

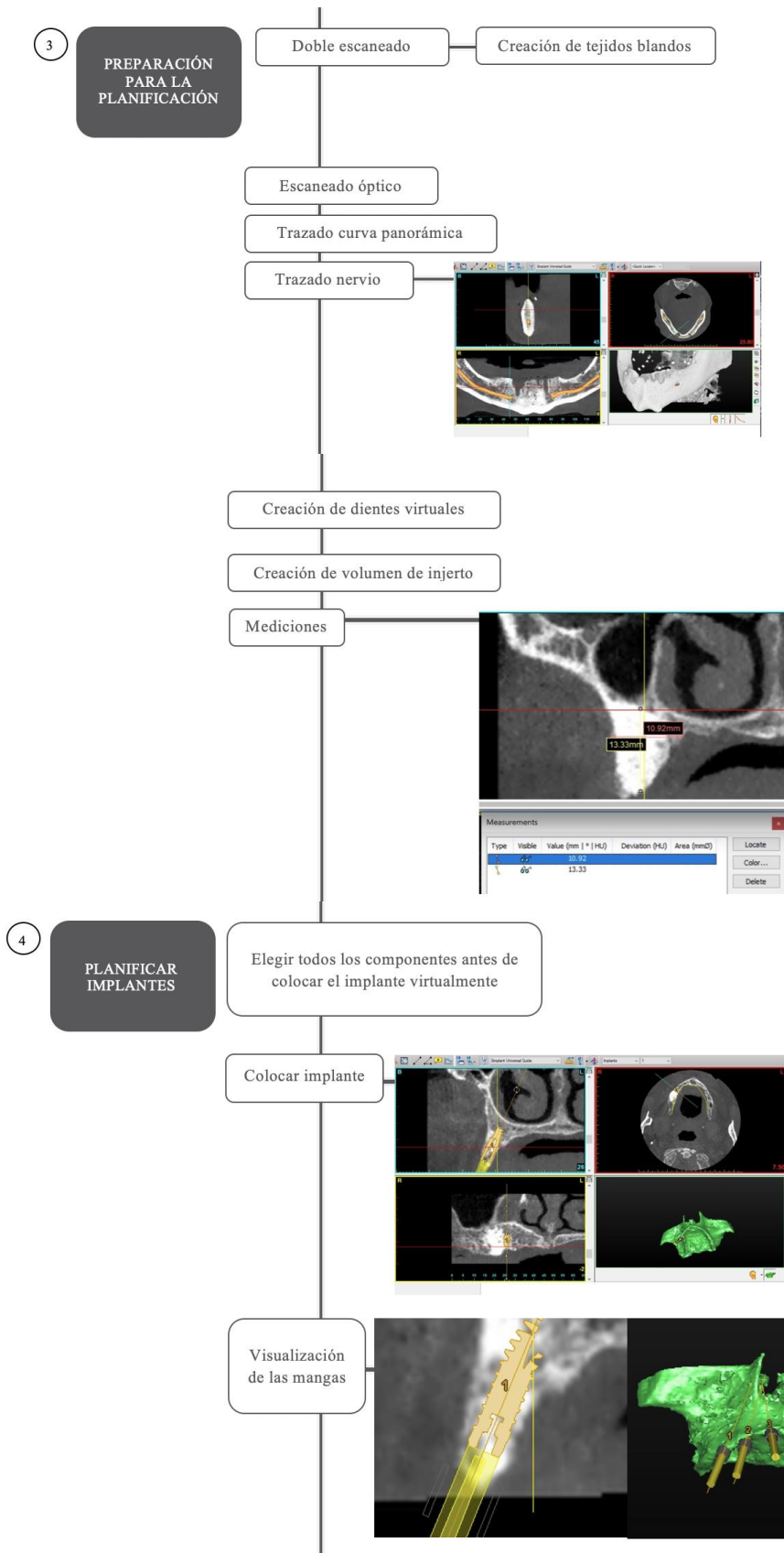
RESULTADOS

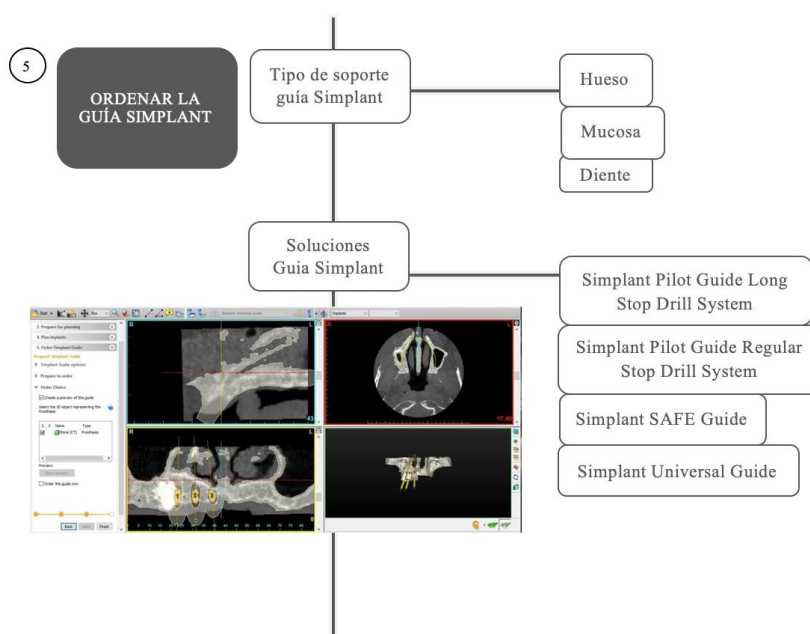
En el separador *Plan Implants*, la elección de una guía quirúrgica permite obtener una previsión de las mangas usadas en su planificación. Al clicar en la manga, en la vista 3D, se aparece un pop-up con la información de la longitud del fresado y del transportador del implante. Para alinear los implantes están disponibles tres formas: alineación de puntos oclusales verticalmente, alineación en la vista panorámica o alineación en la vista 3D.

5.2. FLUJO DE TRABAJO



RESULTADOS





6. EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD ÓSEA

La Tabla 1 muestra las mediciones de la densidad ósea de 3 puntos (A, B y C) en un corte transversal de cada uno de los 5 sistemas de cirugía guiada valorados en el presente trabajo doctoral. Se ha aprovechado un corte con una imagen radiopaca, fácilmente identificable en las vistas de los 5 programas informáticos analizados (Figuras 1-6). Los 3 puntos (A, B y C) tienen aproximadamente la misma localización en las 5 vistas.

Sistemas/Puntos	A	B	C
<i>CoDiagnostix</i>	279	853	1982
<i>Nemoscan</i>	295	1083	2081
<i>Simplant Pro</i>	385	713	2000
<i>DTX Implants</i>	-208	642	2191
<i>Galimplant 3D</i>	-221	727	2156
Media	106	803,6	2082

Tabla 1 – Mediciones de la densidad ósea de 3 puntos (A, B, y C) en cortes de los 5 sistemas.

RESULTADOS

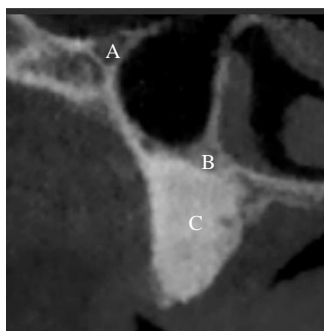


Figura 1 – Localización de los puntos A, B y C en el corte transversal.

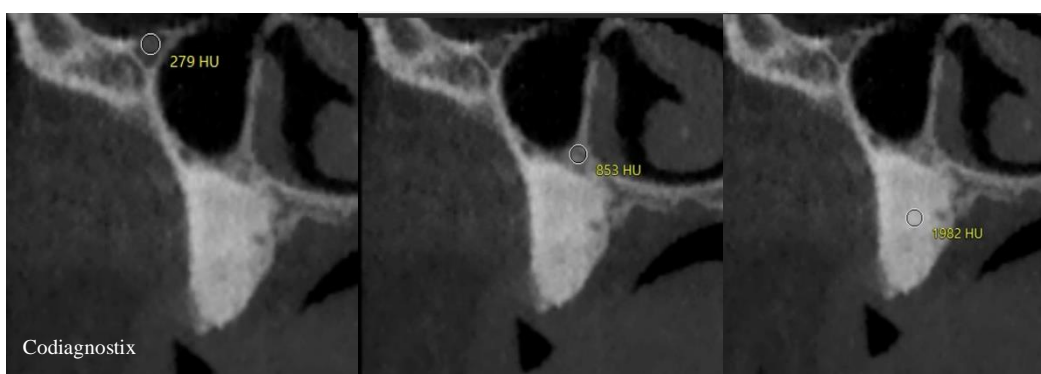


Figura 2 – Medición de la densidad ósea del punto A, B y C en el programa Codiagnostix ®.

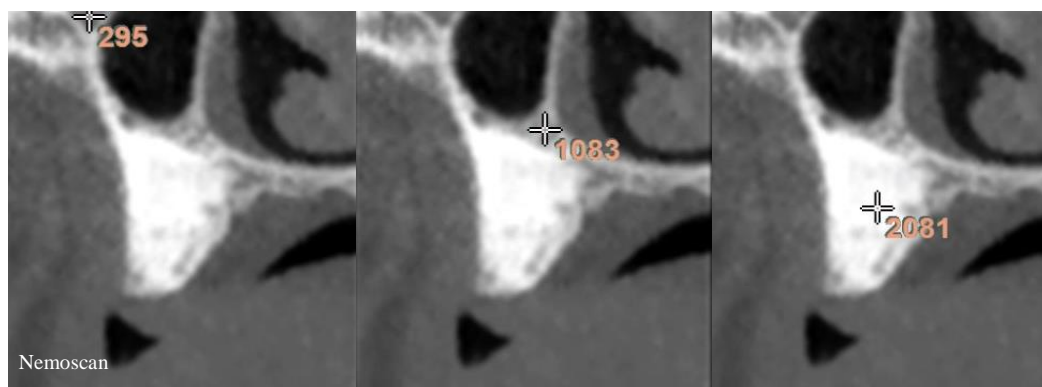


Figura 3 – Medición de la densidad ósea del punto A, B y C en el programa Nemoscan ®.

RESULTADOS

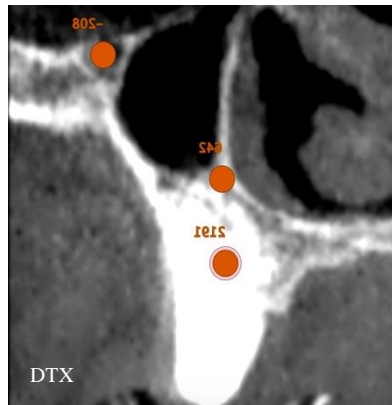


Figura 4 – Medición de la densidad ósea del punto A, B y C en el programa DTX ®.

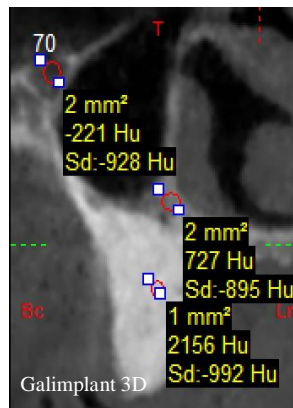


Figura 5 – Medición de la densidad ósea del punto A, B y C en el programa Galimplant 3D ®.

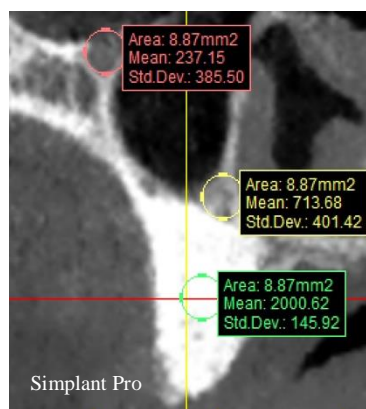


Figura 6 – Medición de la densidad ósea del punto A, B y C en el programa Simplant Pro ®

RESULTADOS

La medición de la densidad ósea puede calcularse, en los programas informáticos de cirugía guiada, de dos formas: aleatoriamente en una vista del espacio de trabajo, o alrededor del implante virtualmente planeado.

De forma aleatoria, en Galimplant 3D ® se puede seleccionar una área circular o rectangular y donde haga clic en la vista, una leyenda de texto aparece y muestra cercana del área el valor en HU, el desvío padrón en HU y el cálculo del área medida.

Simplant Pro ® muestra los resultados del clic de la misma manera que Galimplant 3D ® y presenta una tercera opción, que es la línea de perfil de la densidad ósea: al colocar dos puntos que delimitan la sección a medir, se crea un gráfico cuyos ejes son los valores HU e los mm de la sección trazada.

En DTX Studio Implant ®, seleccionando el botón *HU Value*, y de seguida en un punto aleatorio, el programa devuelve el valor.

En Nemoscan ®, la medición es totalmente automática, bastando pasar el cursor del ratón por una vista 2D, sin necesidad de hacer pulsar el botón del ratón.

En coDiagnostix ® esta medición también es automática, después de pulsar en *Medición de la densidad*, en una vista 2D. El último valor medido está siempre presente en el menú de verificación. Cuando el implante está virtualmente colocado, podemos comprobar la densidad ósea de alrededor. La densidad media se muestra en la barra de estado, y el modo de medición puede incluir solamente el contorno del implante o todo su espacio (Figura 7).

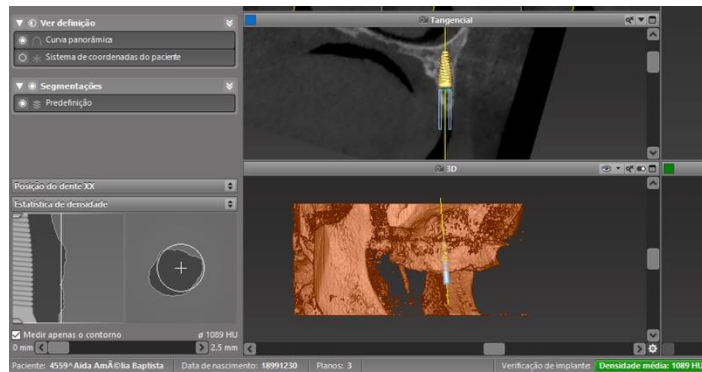


Figura 7 – Cálculo de la densidad alrededor del implante en CoDiagnostix ®.

En Galimplant 3D ®, una pantalla se abre y muestra a la izquierda, la densidad del hueso alrededor del implante a través de su longitud (la línea azul muestra la densidad media) en el histograma posicional. El histograma acumulativo muestra la suma de los puntos alrededor del implante con la misma densidad. En el histograma de mapa (a la derecha) se observa la densidad con las opciones de escala de gris y pseudocolor (un valor de densidad en la escala de Hounsfield que se asigna a cada color)(Figura 8).

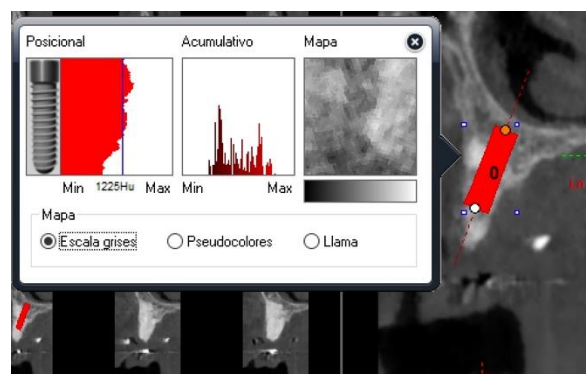


Figura 8 – Cálculo de la densidad alrededor del implante en Galimplant 3D®.

En DTX Studio Implant ® la única manera de calcular la densidad

RESULTADOS

alrededor del implante es pulsar aleatoriamente, como se hace en un área ósea cualquier (Figura 9).

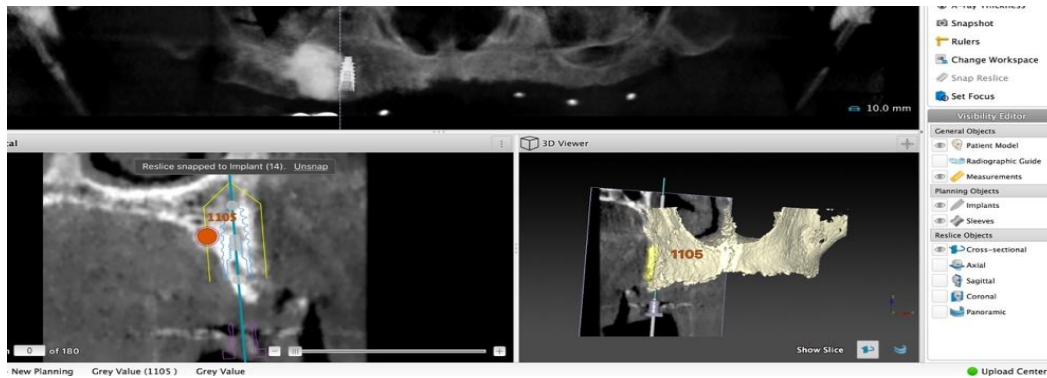


Figura 9 – Cálculo de la densidad alrededor del implante en DTX®

En Nemoscan ® la opción *Densidad Ósea* consta de tres gráficos que muestran un histograma en lo cual se determina la densidad media (medición en unidades Hounsfield), desde la superficie oclusal hasta la apical, y en el interior y exterior del implante (Figura 10). La barra vertical del gráfico determina la medición del implante en milímetros, y la barra horizontal inferior determina el valor de las unidades H. La barra horizontal superior determina el rango de la densidad de lo menos al más denso según la clasificación de Misch. El programa también muestra los valores de la densidad media con respecto a la superficie del implante, y la desviación correspondiente a esa media. En un implante dentro del cual hay más variaciones de densidad a lo largo de la superficie, se reflejará una mayor desviación del promedio, de que un implante en el cual la densidad ósea es más constante.

RESULTADOS

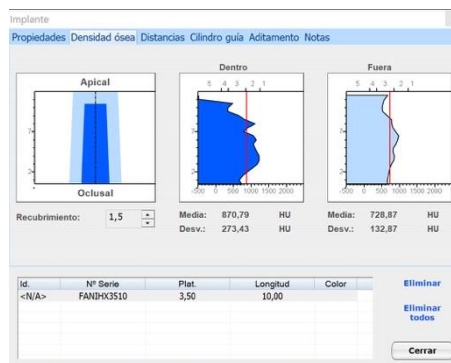


Figura 10 – Cálculo de la densidad alrededor del implante en NemSCAN®.

En Simplant Pro ®, la pantalla de la *Densidad Ósea del Implante* presenta la densidad ósea dentro y fuera del implante (Figura 11). Fuera del implante, hay dos direcciones de visualización: una siguiendo el eje del implante, una otra perpendicular al eje del implante. Marcando la casilla de verificación *Mostrar Colores de Densidad Ósea* se observan los diferentes tipos de hueso en el gráfico. La escala de color de la densidad ósea se basa en la relación entre las gamas de unidades Hounsfield y los diferentes tipos de hueso. Los intervalos predeterminados y los códigos de color se pueden personalizar en la configuración. Se puede elegir la clasificación de la densidad ósea entre la de “Misch” y la de “Lekholm and Zarb”, pero sus valores son configurables. De acuerdo con las características de la TCHC, la cuantificación de la densidad ósea no está relacionada con el valor absoluto Hounsfield, pero la interpretación relativa de la densidad en las imágenes da la información es necesaria para realizar una buena planificación.

RESULTADOS

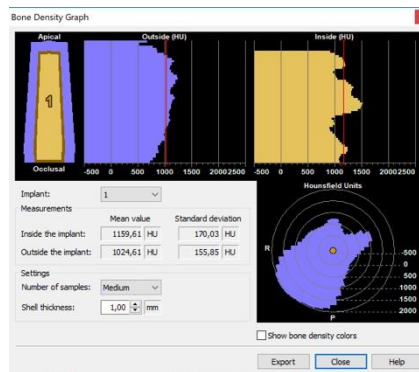


Figura 11 – Cálculo de la densidad alrededor del implante en Simplant Pro®

DISCUSSION

DISCUSION

El tratamiento con implantes dentales representa, en la actualidad, una opción terapéutica muy exitosa en la práctica clínica odontológica. La rehabilitación con implantes, tras la evaluación sistémica y oral del paciente, la determinación del plan de tratamiento y un correcto protocolo quirúrgico y prostodóncico, constituye una visión multidisciplinaria del tratamiento implantológico, agregando cada vez más soluciones y herramientas que ayudan al clínico a tomar mejores decisiones, y a conseguir las rehabilitaciones orales más predecibles, seguras y consistentes ⁸⁰.

La evolución de los softwares o programas informáticos permiten la captación de información de diferentes fuentes, hacer su procesamiento y ponerla a la disposición de los clínicos. Los programas informáticos, que inicialmente tenían un papel más de apoyo y de asistencia a la visualización de las imágenes radiológicas, actualmente procesan archivos que generan guías para usar en medios complementarios de diagnóstico y en el procedimiento quirúrgico, todo a través de procesos de elaboración virtual ^{49,79-80}.

Con el crecimiento de la técnica de implantología oral asistida por ordenador, fue necesario desarrollar mecanismos de seguridad y de precisión, para conseguir una técnica viable y precisa. Los resultados exitosos fueron continuamente basados en la evidencia clínica y reflejados en la bibliografía. La colocación de implantes provisionales en boca para obtener puntos de referencia en arcadas edéntulas, el control de la orientación de los cortes axiales al plano oclusal, las técnicas de segmentación digital, todas estas funcionalidades juntas contribuyen a mejorar la técnica y consecuentemente el resultado final ⁸¹⁻⁸².

Los tomógrafos de haz cónico comercialmente disponibles utilizan

DISCUSION

diferentes configuraciones para hacer un escaneado. Además, existen numerosas opciones de software con diferentes capacidades y características para fabricar guías quirúrgicas, que, debido a su variedad, pueden dificultar la elección del sistema más útil a las necesidades del clínico. Con el objetivo de facilitar la comunicación entre profesionales y estandarizar el flujo de trabajo con imágenes médicas, se estableció el formato estándar para imágenes digitales en radiología: DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine- proyección de imagen digital y comunicaciones en medicina). Se han establecido normas de ingeniería y modelado para permitir el intercambio de los datos del escaneado y exportación de archivos de estereolitografía (STL) ⁸³.

El resultado de todo el flujo de trabajo, desde la planificación a la cirugía se queda reflejado en la guía quirúrgica. Su precisión es un factor fundamental para evaluar el éxito la rehabilitación, y comprobar que los sistemas de cirugía guiada, presenta un grado importante de precisión ⁸⁴. Además, el resultado final de una rehabilitación pasa por la evaluación de las tasas de supervivencia de los implantes utilizados y los resultados prostodóncicos, que puede reflejar la fiabilidad de estos sistemas ⁸⁵.

1.FÉRULAS QUIRÚRGICAS PARA PACIENTES EDÉNTULOS.

La técnica de implantología oral guiada asistida por ordenador ha hecho posible la rehabilitación de pacientes edéntulos totales de forma predecible y segura. La transformación de los datos obtenidos por la CBCT en la realización de una férula quirúrgica ha hecho posible la inserción controlada de los pacientes en los casos de edentulismo total maxilar y/o mandibular con tasas elevas de éxito ^{12,24,36,55}.

Los resultados del presente estudio doctoral indican que todos los sistemas informáticos evaluados (DTX Studio Implants ®, Galimplant 3D

DISCUSION

®, Nemoscan ®, CoDiagnostix ®, Simplant Pro ®) pueden planificar el tratamiento mediante una férula quirúrgica guiada en los casos de edentulismo total con los datos obtenidos de la CBCT. En este sentido, el sistema de Galimplant 3D ® tiene disponible la posibilidad de hacer la confección de férulas mucosoportadas como han sido utilizadas en diversos estudios con excelentes resultados clínicos y tasas elevadas de éxito ⁸⁰⁻⁸³.

Como demuestran estos estudios, la planificación de tratamiento, de acuerdo a la selección de los implantes y su posterior rehabilitación protésica, permite la realización de una férula quirúrgica mucosoportada que controla la inserción guiada de los implantes mediante una técnica sin colgajo ⁸⁰⁻⁸³. La férula mucosoportada presenta las perforaciones con sus conductos metálicos para la inserción de los implantes de acuerdo a la planificación previa realizada con las imágenes digitales obtenidas de la CBCT lo que proporciona un método muy fiable y seguro para la inserción de los implantes en el maxilar y/o en la mandíbula ⁸⁰⁻⁸³.

El sistema DTX Studio Implants ® (antes llamado NobelClinician), permite para pacientes edéntulos, la confección de férulas quirúrgicas mucosoportadas. La configuración del tipo de cirugía se realiza individualmente para cada implante. De entre esas férulas, están disponibles la opción *Freehand* (no utiliza los conductos metálicos para realizar el fresado), *Fully Guided* (toda la secuencia del fresado es guiada por los conductos metálicos) o *Pilot Drilling* (solamente se usa la fresa inicial con la férula quirúrgica, para guiar la osteotomía, y la restante secuencia del fresado se realiza de una manera convencional, sin la utilización de la férula). El sistema no tiene opción para crear una guía óseosoportada ni de reducción ósea, lo que es una desventaja, si hay necesidad de hacer una cirugía accesoria simultáneamente con la cirugía guiada principal.

DISCUSION

Diversos estudios han utilizado el sistema DTX Studio Implants ® (antes NobelClinician ®) para la realización de férulas quirúrgicas mucosoportadas en cirugía guiada ^{56,84}. Un estudio recomienda este tipo de férula quirúrgica mucosoportada porque presenta ventajas importantes en pacientes tratados no solo en localizaciones cicatrizadas sino también con implantes en alveolos postextracción, donde la planificación de la localización de los implantes se adelanta a los posibles procesos de cicatrización que pueden modificar el reborde alveolar. De esta forma, la férula mucosoportada ayuda a realizar la inserción de los implantes inmediatos en la parte apical de los alveolos ⁵⁶.

El sistema de Nemoscan ® ofrece 3 planificaciones de férulas posibles: *Pilot Guide*, *Universal Guide* (para cualquier sistema de implantes) y *Implant Guide*, con el uso de un sistema de guías de fresa guiadas que entran en los conductos metálicos, en número igual a las fresas utilizadas en la preparación. Tiene disponible la confección de férulas óseosportadas y de reducción ósea (en concreto para hacer corticotomías).

El sistema Nemoscan ® ha sido utilizado en pacientes edéntulos totales para la realización de férulas mucosoportadas que asegura la inserción quirúrgica de los implantes sin complicaciones, en aquellos casos de una disponibilidad ósea comprometida ⁸⁵. Este tipo de férula constituye la más utilizada en los protocolos y estudios de implantología oral guiada asistida por ordenador. Este tipo de férula mucosoportada favorece un postoperatorio muy favorable con escasa presencia de complicaciones dolorosas e inflamatorias ²⁴.

El sistema CoDiagnostix ® planifica férulas quirúrgicas mucosoportadas compatibles con diversos fabricantes de implantes. Este sistema ha sido utilizado en estudios de cirugía guiada con tratamiento de pacientes edéntulos mediante férulas mucosoportadas ⁸⁵⁻⁸⁶. Este sistema

DISCUSION

incorpora replicas de implantes en la reconstrucción de 3D de los tejidos blandos siguiendo la planificación de tratamiento que posteriormente son transformados en orificios para la elaboración de las férulas quirúrgicas. El diseño es enviado a la unidad de impresión 3D y se realiza la férula mucosoportada con una buena aplicación clínica en el tratamiento del paciente edéntulo total ⁸⁵.

Los datos obtenidos de la CBCT son importados al software CoDiagnostix ® para la planificación individual con varios implantes en pacientes edéntulos totales y enviados al laboratorio para la realización de las férulas mucosoportadas que permitan la inserción de los implantes después del fresado guiado como demuestra un estudio reciente con unos resultados clínicos muy favorables conseguidos con carga inmediata y una reducción importante de la cirugía y de las molestias quirúrgicas ⁸⁶.

El sistema Siplant Pro ® posibilita el diseño de férulas mucosoportadas, de reducción ósea y oseosoportadas (basadas en las férulas de reducción ósea), y planifica 4 tipos de férulas: *SAFE Guide* (es dependiente del material propio de los varios sistemas de implantes), *Universal Guide* (es compatible con todos los sistemas de implantes, tiene un control de profundidad, y se utiliza cuando el sistema SAFE no está disponible), *Pilot Guide* y *Classic Guide* (uso de férulas múltiples, una por cada diámetro).

Un estudio reciente demuestra la eficacia clínica de las férulas mucosoportadas elaboradas con el sistema Siplant Pro ® en pacientes edéntulos totales con alveolos frescos postextracción y localizaciones cicatrizadas después de un protocolo individualizado de diagnóstico, planificación, cirugía y prótesis ⁸⁷.

2. PRECISIÓN DE LAS FÉRULAS QUIRÚRGICAS

Una forma de evaluar la precisión de un plan de tratamiento generado por un programa informático de cirugía guiada, es analizando la precisión de la férula quirúrgica, una vez que ella es la responsable por trasladar el plan de tratamiento a la boca del paciente ²⁸.

La precisión en cirugía guiada es definida como la comparación entre la posición planificada del implante en el software con la posición actual del implante en la boca. Refleja la acumulación de todas las desviaciones posibles desde la imagen tomográfica, su transformación en guía quirúrgica y la posición incorrecta durante la cirugía. Estos diferentes tipos de errores pueden incluir los errores relacionados con la elaboración de la férula, su posicionamiento y movimientos durante el fresado y pueden ser acumulativos ⁸⁸.

En líneas generales, se ha demostrado que la realización de los lechos óseos para la inserción de implantes por cirugía guiada asistida por ordenador es más precisa significativamente que la inserción manual ^{10,17}. Los métodos de precisión y exactitud han incluidos estudios preclínicos (ej. modelos sintéticos, mandíbulas de cadáver) y clínicos (pacientes) y parecen sugerir una mayor precisión en los estudios con modelos y cadáver que en los humanos. Esta diferencia se debe fundamentalmente al mejor acceso, control visual del eje del fresado, ausencia de movimientos del paciente y otros impedimentos orales (ej. saliva, sangre) ^{10,17}.

Una revisión bibliográfica analizó la exactitud y el rendimiento clínico de los sistemas de cirugía guiada asistida por ordenador, y se compararon la precisión de los sistemas de implantes, a través de 3 zonas de medición (error de entrada, error de ápex y error angular) originando una desviación media en cada una de las zonas. Al mismo tiempo, estos valores fueron comparados en cirugías guiadas con características

DISCUSION

específicas, como es el caso de cirugías guiadas con utilización de férulas mucosoportadas y tornillos de fijación, con utilización de férulas oseosoportadas, con utilización de férulas dentosoportadas, y de cirugías con elevación de un colgajo, sin colgajo, sólo con la utilización de una fresa piloto, o con un sistema totalmente guiado ²⁸.

Muchas veces la cirugía guiada es recomendada para casos clínicos de enfoque sin colgajo, para situaciones con una cantidad de hueso limitada, o en situaciones anatómicas críticas (como una posición muy cercana del nervio alveolar inferior). Por lo tanto, el conocimiento de los valores máximos de desviación de estos sistemas es muy relevante para la práctica clínica común. Los datos analizados mostraron una inexactitud en la entrada del implante de 1,12mm y un máximo de 4,5mm, y una inexactitud de 1,39 mm en el ápex de los implantes con un máximo de 7,1mm. Este rango puede estar relacionado con factores externos, como por ejemplo los movimientos de la guía quirúrgica durante la preparación del lecho del implante. Otros autores sugieren que férulas soportadas por miniimplantes han proporcionado mayor precisión, en la posición de la férula (más aún en pacientes edéntulos), y la utilización de sistemas de fresas con dispositivos de control vertical y fresas de osteotomía ajustables ^{28,37}.

Aunque la colocación de implantes con abordaje sin colgajo parecer mostrar mayor precisión, tenemos que interpretar estos valores cuidadosamente. Todos los estudios donde se elevó el colgajo reportaron el uso de férulas quirúrgicas oseosoportadas, por lo que la inexactitud puede estar relacionada con el diseño de la férula y no tanto con la elevación del colgajo ²⁸. Algunos investigadores refieren que el motivo de la menor precisión, en casos de cirugía guiada con elevación del colgajo, resulta de

DISCUSION

un posicionamiento de la guía más difícil, debido a la posible interferencia del tejido blando separado ⁸⁸.

En la publicación de los Consensos de la European Association of Osseointegration sobre este tema, diferentes factores, como por ejemplo un apoyo mucoso versus un apoyo dentario, el tipo de guía, entre otros, pueden jugar un papel importante en el éxito de esta técnica, y es importante realizar más estudios, evaluando la importancia de cada uno de los factores en la precisión de la técnica⁷⁵. Es posible que el acúmulo de diferentes tipos de errores puedan ocurrir durante el diagnóstico y el plan de tratamiento, llevando a mayores desviaciones de los implantes ^{28,89}.

El análisis de los estudios realizados sobre la precisión de la cirugía guiada puede concluir con que la posición de la guía maxilar o mandibular, su fijación o no con tornillos, el tipo de guía parcial o total y la realización o no de colgajos puede influir en la precisión de la cirugía de implantes computarizada. Las férulas completas fijadas con tornillos y cirugía sin colgajo presentan una mayor precisión ⁸⁸.

Algunos de los sistemas informáticos evaluados en el presente trabajo de investigación doctoral han sido utilizados en diferentes trabajos realizados sobre precisión de la cirugía guiada. En este sentido, en un estudio reciente con la utilización del software Codiagnostix ® por clínicos estadísticamente considerados sin experiencia (no tenían más de 20 implantes colocados), se evaluó la precisión en la colocación de implantes utilizando una férula de cirugía guiada versus el método manual de colocación, comparando los resultados con la posición preoperatoria planificada con el software ⁹⁰. La colocación de implantes con el uso de la cirugía guiada produjo desviaciones significativamente menores en comparación con el método manual, al nivel de la posición basal y apical del implante, así como el nivel de la angulación. Los autores concluyeron

DISCUSION

que, para los clínicos sin experiencia, el uso de férulas quirúrgicas puede ser muy recomendable, con el fin de aumentar la previsibilidad y la seguridad del tratamiento ⁹⁰.

Un estudio valora la precisión de la posición de los implantes de 60 pacientes utilizando un programa informático Simplant Pro® ⁹¹. En un grupo de 30 pacientes se realizó la planificación quirúrgica sin férula guiada y se insertaron 52 implantes. En otro grupo de 30 pacientes se realizó una férula por prototipaje, insertándose 57 implantes. Se realizó una CBCT postoperatoria a todos los pacientes. No hubo problemas de lesiones durante la cirugía en todos los pacientes, siendo los tejidos blandos y duros estables. Los resultados demostraron que la utilización de las férulas quirúrgicas guiadas proporcionaban una mayor precisión en la posición de los implantes ⁹¹.

La valoración de la precisión de la técnica de cirugía guiada debe también ser realizada de forma individualizada en cada paciente, siguiendo un protocolo de 3 pasos. La evaluación de la posición del implante insertado, la superposición de las posiciones planificadas y obtenidas; y finalmente la cuantificación de los errores. La posición del implante insertado puede conseguirse por una CBCT postoperatoria o por una impresión escaneada posteriormente. La superposición escaneada es más precisa que la obtenida por CBCT ⁹².

Recientemente se ha valorado también, la forma de elaboración de las férulas mucosoportadas como un posible factor de precisión de la cirugía guiada. La impresión 3D por adición se ha popularizado como método de elaboración más económico y efectivo frente a las impresiones por sustracción que requiere mayor tecnología. La inclusión de material de cromocobalto puede incrementar la rigidez y la precisión de las férulas comparada con las obtenidas por fotopolimerización de la resina ⁹³.

DISCUSION

Los actuales programas informáticos para cirugía guiada ayudan a que la técnica de cirugía guiada asistida por ordenador sea considerada, a pesar de sus posibles errores o limitaciones, el mejor método de inserción de implantes porque es la menos influenciada por los errores humanos en comparación con la técnica convencional o manual ¹⁰. De hecho, cuando se compara la exactitud o precisión de experimentados cirujanos implantológicos con clínicos poco expertos quirúrgicamente en la realización del fresado para los lechos implantarios no suele existir diferencias notables en el grado de precisión de la posición de los implantes; lo que confirma la calidad del protocolo de cirugía guiada asistida por ordenador ¹⁶.

3. EL ÉXITO CLINICO DE LOS IMPLANTES INSERTADOS CON CIRUGÍA GUIADA

La implantología oral guiada asistida por ordenador ha ido incrementando su presencia en la práctica implantológica especializada. En los últimos años, la tecnología digital mediante la utilización del CBCT y los software informáticos han supuesto profundos cambios en la planificación y secuencia del tratamiento en los pacientes edéntulos parciales y totales, mejorando sus expectativas funcionales y estéticas ^{3,9-10}.

La práctica de la cirugía guiada asistida por ordenador permite de una forma práctica incluir la prótesis final como factor de decisión en la planificación de la colocación de los implantes. Virtualmente y con el uso de un software de planificación, se puede optimizar su ubicación antes de la cirugía. Así, los implantes pueden ser planificados para soportar una prótesis que proporcione los requisitos biológicos, funcionales y estéticos ideales y al mismo tiempo respetar la anatomía maxilar o mandíbular obtenida por las imágenes de la CBCT. Esta técnica puede, por supuesto,

DISCUSION

contribuir para un éxito a largo plazo de la rehabilitación con estos implantes ⁹⁴.

En este sentido, el diagnóstico por imagen 3D y su combinación con las herramientas del software de planificación permite obtener una imagen real en forma y tamaño del maxilar o de la mandíbula. Desde un punto de vista diagnóstico, las imágenes obtenidas pueden ser utilizadas de forma interactiva y dinámica por el implantólogo para la correcta planificación de cada caso clínico ⁹².

Actualmente, la técnica de cirugía guiada asistida por ordenador debe considerarse el mejor método de inserción de implantes porque es la menos afectada por los errores humanos en comparación con la técnica convencional o manual. De igual modo, su utilidad y exactitud es a veces comparada con la técnica convencional o manual en aquellos casos que necesitan, por su menor disponibilidad de hueso, de técnicas regenerativas o injertos óseos ¹⁰.

La eficacia de los protocolos de cirugía guiada como una alternativa a técnicas de aumento óseo es difícil de evaluar. Un estudio de Fortin et al.³² obtuvo una tasa de supervivencia de 98% a los 4 años, recurriendo a técnicas de cirugía guiada en maxilares severamente reabsorbidos, lo que demuestra la eficacia clínica en estas situaciones más comprometidas ³².

Una revisión sistemática ha revelado claramente que en determinados casos la aplicación específica de la cirugía guiada asistida por ordenador es suficientemente precisa para justificar su utilización ⁹⁵. Esta revisión reveló que la tasa de supervivencia con implantes colocados con estos sistemas es de 96,6% con 1 año de seguimiento, resultado que está en línea con los procedimientos quirúrgicos convencionales ⁹⁵.

Un estudio reciente presenta los resultados clínicos de la carga inmediata de implantes insertados mediante la técnica de cirugía guiada en

DISCUSION

pacientes edéntulos mandibulares ⁹². Utilizando el software Galimplant 3D®, se realizó la planificación de tratamiento. Con la información obtenida y la cirugía planificada se elaboraron las correspondientes férulas quirúrgicas. Se logró una tasa de supervivencia de 97,6%, para los 206 implantes insertados, después de un seguimiento clínico medio de 62,4 meses desde la rehabilitación definitiva ⁹².

El software DTX Studio Implants ® (antes NobelClinician ®) ha sido utilizado en la rehabilitación de pacientes edéntulos totales, elaborando las férulas quirúrgicas y las prótesis provisionales con cirugía sin colgajo y carga inmediata obteniendo unos resultados clínicos del 97,5% de éxito a 3 años de seguimiento, lo que demuestra su carácter de cirugía segura y predecible ⁵⁶.

Estos resultados clínicos son confirmados por un segundo estudio donde también se utiliza el mismo software informático en pacientes tratados con cirugía guiada durante un periodo medio de 58,2 meses (rango:1-10 años). Más del 75% de los pacientes fueron tratados con carga inmediata. El éxito clínico de los implantes fué superior al 97% demostrando una tasa muy elevada de eficacia.

En los últimos años, se han realizado diversas revisiones, incluyendo revisiones sistemáticas y metaanálisis valorando los diferentes aspectos que deben configurar el éxito de la cirugía guiada asistida por ordenador ^{17,28,36}. En general, se concluye que las tasas de supervivencias de los implantes varían entre el 91% y el 100% ³⁶. Una revisión consensuada en un grupo internacional de implantología ofrecía unos resultados globales de éxito de los implantes en protocolos de cirugía guiada del 97,3% sobre 1941 implantes en 14 estudios de supervivencia. Un 36,4% de los implantes presentaron complicaciones quirúrgicas o prostodóncicas ²⁸. Estos resultados confirman que esta técnica implantológica especializada posee

un alto éxito clínico, demostrando la eficacia de la aplicación de las nuevas tecnologías digitales al campo de la implantología oral ³⁶.

4. EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD ÓSEA

El conocimiento por el profesional del grado de calidad o densidad óseas representa un aspecto importante en la planificación quirúrgica individualizada en los protocolos de cirugía guiada asistida por ordenador ⁹⁷. En la práctica, este aspecto no es tan valorado como el volumen tridimensional del tejido óseo pero constituye un factor crítico para conseguir la estabilidad primaria y posteriormente la oseointegración de los implantes. De hecho, una baja calidad con una delgada cortical ósea está asociada a los fracasos de implantes por motivos biológicos ⁹⁷.

La CBCT ha sido utilizada en la valoración de la densidad ósea demostrando que los porcentajes de diferencia entre los niveles de grises obtenidos son aplicables para evaluar la distribución intraoral del hueso mineral a nivel longitudinal y transversal en las diversas imágenes obtenidas de pacientes diferentes en edad y sexo. Las diferencias más marcadas se encuentran en las mujeres postmenopáusicas lo que sugiere que la CBCT puede ofrecer una valiosa información de la densidad mineral ósea previa a la planificación de la cirugía guiada de implantes ⁹⁸.

Los resultados del presente estudio de investigación doctoral demuestran que todos los sistemas analizados (Galimplant 3D ®, Simplant Pro ®, DTX Studio Implant ®, Nemoscan ®, coDiagnostix ®) presentan en su aplicación la capacidad de valorar la densidad ósea de las imágenes obtenidas de la CBCT para la planificación quirúrgica. Los diversos software informáticos presentan aplicaciones específicas para evaluar el grado de densidad ósea en unidades Hounsfield con apreciaciones de valores a lo largo y alrededor de la localización virtual de los implantes.

DISCUSION

No hay que olvidar que los programas o software informáticos actuales de cirugía guiada ofrecen una aproximación en unidades Hounsfield de las posibles localizaciones óseas de los implantes. Estos datos deben ser manejados por el profesional como una guía aceptable pero relativa de la densidad ósea del paciente, ya que la CBCT en la que se fundamenta las imágenes virtuales de la planificación no se corresponden exactamente con la densidad ósea en unidades Hounsfield que ofrece particularmente la tomografía computarizada (TC) convencional ⁹⁷.

Aún así, los programas informáticos de cirugía guiada ofrecen una visión general y localizada del grado de densidad ósea que ayuda al profesional a seleccionar las mejores localizaciones para los implantes y el tipo de instrumental y fresado más adecuado para conseguir una correcta inserción de los implantes que asegure una futura unión estructural hueso-implante, base del éxito a largo plazo del tratamiento ^{10,24}.

El hueso maxilar y/o mandibular puede proporcionar una buena calidad ósea que favorezca la estabilidad primaria de los implantes, requisito imprescindible para conseguir el éxito en los protocolos de carga inmediata. En este sentido, la CBCT preoperatoria puede informar al profesional, además del volumen óseo, del nivel de densidad ósea en los maxilares parcial o totalmente edéntulos, optimizando el soporte funcional para la rehabilitación protodóncica inmediata correspondiente ⁹⁹.

Los resultados clínicos de los diferentes estudios demuestran que la carga inmediata de los implantes insertados con cirugía guiada constituye un protocolo con un alto grado de predictibilidad en la rehabilitación de los pacientes edéntulos que previamente deben haber sido valorados por los correspondientes software informáticos utilizados que han proporcionado la información precisa del grado de densidad o calidad ósea ¹⁰⁰.

5. ANÁLISIS DE OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE TRABAJO DIGITAL

Al contrario de los demás sistemas analizados, NemoScan ® permite hacer un caso bimaxilar, mientras que los restantes necesitan de realizar dos planos de tratamiento por separado. El DTX Studio Implant ® consigue el mejor control de la rotación de las vistas, haciendo fácilmente 360° de una manera fácil e rápida.

Todos los sistemas permiten la importación y exportación de archivos STL. Galimplant ® es el único programa informático de los analizados que no permite la inserción de un modelo de yeso digitalizado.

La segmentación es una de las más importantes herramientas de los sistemas de cirugía guiada. Todos los sistemas permiten hacerlo en el modelo óseo, dientes y prótesis, y en el mismo plano de tratamiento se pueden crear varias segmentaciones del mismo archivo DICOM. Se reconstruye el modelo 3D pretendido manejando el umbral de los valores HU.

Los artefactos en Simplant Pro ® pueden ser removidos, con la opción *Remove Scatter*. En DTX ® podemos usar las herramientas *Patient Mask* o *Erase Bone Artifacts*. En Nemoscan ® se utiliza para este efecto la opción *Mesh Tools*. En coDiagnostix ® se puede hacerlo con el botón *Corte 3D*. En Galimplant 3D ® se utiliza la opción *Alisar Modelo y Eliminar Hueso Aislado*, en las propiedades del modelo 3D.

La presencia de artefactos suele ser frecuente en los estudios obtenidos de la CBCT y transformados en los software informáticos de cirugía guiada. Los artefactos pueden incluir beam hardening (endurecimiento del haz por atenuación de la energía de los fotones), la existencia de dispersión generalmente degrada la calidad de la imagen ⁹⁸.

La segmentación es una herramienta posible de utilizar en cualquier

DISCUSION

estructura de un archivo DICOM o STL importado, por lo que implícitamente es posible segmentar zonas de dientes o del seno maxilar para simular una extracción de diente o una elevación de seno. A pesar de esto, los programas informáticos tienen predefinida la opción para esta acción. Así, la opción *Extraer Diente* está disponible en Simplant Pro ®, DTX Studio Implants ® y Nemoscan ®. La opción elevación de seno está disponible en Galimplant ® (cálculo del volumen de biomaterial necesario y planeamiento de la cirugía), en Nemoscan ® (cálculo y planeamiento), en Simplant ® (sólo volumen) y en coDiagnostix ® (sólo volumen y simulación de cirugía para una presentación) que permite calcular un aumento óseo en cualquier zona anatómica.

En la técnica de doble escaneado, para casos clínicos de edentulismo completo, coDiagnostix ® indica el uso de una guía radiológica con una base radiopaca o completamente radiopaca. Si se utiliza la técnica con un escaneado óptico (o en alternativa una digitalización de superficie de un modelo de yeso o de una impresión) entonces no es necesario una guía radiológica, y en estos casos de edentulismo completo se puede utilizar implantes provisionales para hacer la coincidencia de las digitalizaciones.

El software informático Nemoscan ® detecta automáticamente los marcadores de la guía radiológica. Cuando es segmentada, y ocurre un error, tienen que ser reconocidos manualmente un mínimo de 5 marcadores. El programa exige una guía radiológica si no hay ningún modelo escaneado.

Con DTX Studio Implants ® para casos de desdentados totales es necesario seguir el protocolo con guía radiológica en la técnica de doble escaneado, utilizando una digitalización intraoral para los casos de edentulismo completo. Con la utilización de un escáner intraoral para el escaneado óptico, el archivo resultante (.ply o .stl) puede ser importado

DISCUSION

para el programa e alineado con el modelo 3D del paciente, a través de la herramienta *SmartFusion*. Se utiliza el botón *Dental Scan*, y se introduce un archivo .nxa, el escáner utilizado para obtener el modelo dentario se define automáticamente. Se introducimos un .stl, el proceso obliga a manualmente escoger el escáner. Si el intervalo de la digitalización es conocido, el intervalo de dientes es indicado de forma automática, si no, puede ser ajustado. El resultado obtenido necesita ser aprobado por el clínico para asegurar que los planos se quedaran correctamente superpuestos. Si hubiere más datos en el archivo (encerado, prótesis) todo es adicionado automáticamente. Si hay un fallo en la digitalización del modelo del paciente o no es suficientemente exacto, es necesario reiniciar el cálculo del SmartFusion y ajustar la posición inicial de digitalización.

El programa Simplant Pro®, cuando es utilizado para un caso de doble escaneado y desdentado total, necesita los marcadores de la prótesis escaneada en el escáner del paciente. Es posible hacerlo en una zona delimitada, elegida por el profesional, en lugar de todo el modelo 3D. Hace la coincidencia de una forma automática. Es posible hacer en desdentados totales sin usar una guía radiológica, pero no es la mejor opción, una vez que la técnica tradicional consigue buscar más detalles a la prótesis. En la técnica de escaneado óptico, se usan las puntas de las cúspides para hacer coincidir las en ambos los modelos 3D (pelo menos 3 marcadores). Esta operación no es automática y tiene que realizarla el clínico.

Todos los sistemas disponen de una biblioteca de implantes, que puede ser actualizada. Por defecto, Simplant Pro ® tiene la mayor biblioteca, con 115 marcas de implantes. En segundo lugar, coDiagnostix® tiene 64 y los restantes tienen menos de 15 (Nemoscan® con 12, DTX ®con 7 y Galimplant ® con 1). coDiagnostix ®tiene una herramienta *Implant Design* que posibilita el diseño de implante totalmente

configurable pelo clínico.

Todos los sistemas están preparados para la planificación y fabricación de la prótesis provisional. CoDiagnostix ® presenta la herramienta *Implant Analog Design*, que permite incorporar virtualmente un análogo en el modelo de yeso digitalizado, para de seguida poder ser exportado.

La transferencia de datos de diagnóstico al procedimiento clínico, no siempre es posible en todos los casos. En la práctica clínica, aproximadamente sólo del 15 al 20% de los casos examinados son elegibles para la cirugía guiada, sin realizar intervenciones quirúrgicas para la prevención o corrección del tejido blando o duro. Sin embargo, en los casos en que se respeten los protocolos, la cirugía guiada es una herramienta extremadamente eficaz para simplificar los procedimientos, con resultados comparables a las técnicas convencionales.

6. VALIDACIÓN DE LOS DATOS RECIBIDOS Y GENERADOS

Es muy importante validar todos los datos que se utilizan para diagnosticar y planificar un caso clínico de cirugía guiada. Así, todos los sistemas analizados en esta tesis doctoral disponen de herramientas de control, como son las de reorientación de las imágenes axiales al plano oclusal después de una importación DICOM, o de visualización de un corte de sección transversal que se ajusta al implante virtual seleccionado que girará alrededor de su eje, en lugar de seguir la arcada del hueso donde está colocado. También durante la confección de la planificación de tratamiento los sistemas emiten mensajes de alerta, cuando los límites de ese plano son sobrepasados, como es el caso de una colisión entre dos implantes, o mismo entre un implante y un nervio.

Menos frecuente es la aplicación para comparar la planificación

DISCUSION

virtual con la planificación efectiva y realizada en el paciente. De los 5 sistemas estudiados, sólo coDiagnostix ® ofrece esta herramienta, a través de un módulo opcional. Hace la comparación de la planificación virtual preoperatoria y un escaneado del modelo postoperatorio con piezas marcadoras específicas de un paciente. Esta opción depende de la compatibilidad de las piezas específicas con los diferentes sistemas de implantes. Realiza también una segunda comparación entre la planificación virtual preoperatoria y una CBCT postoperatoria.

En la medida de lo posible, las CBCT se deben realizar de una forma similar, utilizando los mismos parámetros de escaneo y valores de umbral. Las técnicas de superposición se utilizan para virtualmente extraer los implantes (colocados realmente en lo paciente) de la CBCT postoperatoria y se superponer a los planificados virtualmente en la CBCT prequirúrgica. Una vez superpuestos (en su contorno y perfil) se pueden obtener las desviaciones ¹⁰¹.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

PRIMERA. Los resultados del presente estudio doctoral indican que todos los sistemas informáticos evaluados pueden planificar el tratamiento mediante una férula quirúrgica guiada en los casos de edentulismo parcial o total con los datos obtenidos de la CBCT.

SEGUNDA. La evaluación de los programas informáticos analizados indica la importancia de realizar un protocolo individual de cada paciente que permita la correcta planificación del tratamiento.

TERCERA. La evolución y simplificación de los sistemas informáticos de cirugía guiada van a contribuir en una mayor aceptación de esta técnica quirúrgica, destacando su importancia en la implantología oral actual.

CUARTA. El análisis de los programas informáticos demuestra que el flujo digital de cada sistema informático es fundamental para obtener unos resultados clínicos favorables.

QUINTA. Es importante la realización de nuevos estudios para definir el protocolo a seguir, para cuantificar el impacto de cada etapa del flujo de trabajo digital y mejorar la planificación de tratamiento.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. Rinaldi M, Ganz SD, Mottola A. Computer-Guided Applications for Dental Implants, Bone Grafting, and Reconstructive Surgery. St. Louis: Elsevier Inc.; 2016.
2. Puterman I, Kan JYK, Rungcharassaeng K, Oyama K, Morimoto T, Lozada J. Biological adaptation to misfits of immediately loaded fixed prostheses following computer-guided surgery. *J Prosthodont.* 2012;21(3):185-90
3. Mora MA, Chenin D, Arce R. Software tools and surgical guides in dental-implant-guided surgery. *Dent Clin North Am.* 2014;58(3):597-626
4. Gallucci G, Khoynezhad S, Yansane A, Taylor J, Buser D, Friedland B. Influence of the Posterior Mandible Ridge Morphology on Virtual Implant Planning. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2017;32(4):801-6
5. González-García R, Monje F. Is micro-computed tomography reliable to determine the microstructure of the maxillary alveolar bone? *Clin Oral Implant Res.* 2013;24(7):730-7
6. D'Haese J, Vervaeke S, Verbanck N, De Bruyn H. Clinical and Radiographic Outcome of Implants Placed Using Stereolithographic Guided Surgery: A Prospective Monocenter Study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2013;28(1):205-15
7. Jivraj S. Graftless solutions for the edentulous patient. New York: Springer; 2018.
8. Goiato M, Garcia-Júnior I, Magro-Filho O, Dos Santos DM, Pellizzer EP. Implant-retained thumb prosthesis with anti-rotational attachment for a geriatric patient. *Gerodontology.* 2010;27(3):243-7
9. Vandenberghe B. The digital patient – Imaging science in dentistry. *J Dent.* 2018;74:21-6
10. Velasco E. Implantología oral guiada asistida por ordenador. Madrid: Ripano; 2013.
11. Jaju P. Dental CT third eye in dental implants. New Dehli: Jaypee Brothers Medical Publishers, Ltd; 2013.
12. Sforza N, Franchini F, Lamma A, Botticelli S, Ghigi G. Accuracy of computerized tomography for the evaluation of mandibular sites prior to implant placement. *Int J Periodontics Restor Dent.* 2007;27(6):589-95
13. Kernen F, Benic GI, Payer M, Schär A, Müller-Gerbl M, Filippi A, et al. Accuracy of Three-Dimensional Printed Templates for Guided Implant

BIBLIOGRAFIA

- Placement Based on Matching a Surface Scan with CBCT. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2016;18(4):762-8
14. Pedroso L, Garcia R, Leles J, Leles C, Silva M. Impact of cone-beam computed tomography on implant planning and on prediction of implant size. *Brazilian Oral Res.* 2014;28(1):46-53
 15. Chan HL, Misch K, Wang HL. Dental imaging in implant treatment planning. *Implant Dent.* 2010;19(4):288-98
 16. Rungcharassaeng K, Caruso JM, Kan J, Schutyser F, Boumans T. Accuracy of computer-guided surgery: A comparison of operator experience. *J Prosthet Dent.* 2015;114(3):407-13
 17. Jung RE, Schneider D, Ganeles J, Wismeijer D, Zwahlen M, Hämmerle C, et al. Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24(suppl.):92-109
 18. Drago C, del Castillo R, Peterson T. Immediate occlusal loading in edentulous jaws, CT-guided surgery and fixed provisional prosthesis: a maxillary arch clinical report. *J Prosthodont.* 2011;20(3):209-17
 19. Gillot L, Noharet R, Cannas B. Guided surgery and presurgical prosthesis: preliminary results of 33 fully edentulous maxillae treated in accordance with the NobelGuide protocol. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2010;12(suppl.):104-13
 20. Gill A, Rao P. Primary stability: The password of implant integration. *J Dent Implant.* 2012;2(2):103-9
 21. Gapski R, Wang HL, Mascarenhas P, Lang NP. Critical review of immediate implant loading. *Clin Oral Implant Res.* 2003;14(5):515-27
 22. Möhlhenrich SC, Heussen N, Loberg C, Goloborodko E, Hölzle F, Modabber A. Three-dimensional evaluation of implant bed preparation and the influence on primary implant stability after using 2 different surgical techniques. *J Oral Maxillofac Surg.* 2015;73(9):1723-32
 23. De Santis D, Malchiodi L, Cucchi A, Canton LC, Trevisiol L, Nocini PF. Computer-assisted surgery: double surgical guides for immediate loading of implants in maxillary postextractive sites. *J Craniofac Surg.* 2010;21(6):1781-5
 24. Velasco E, Pato J, García A, Segura J JA. Implantología oral guiada asistida por ordenador en el tratamiento del paciente edéntulo mandibular. *Av Perio Impl Oral.* 2011;23(1):11-9
 25. Pommer B, Busenlechner D, Fürhauser R, Watzek G, Mailath-Pokorny G, Haas R. Trends in techniques to avoid bone augmentation surgery:

BIBLIOGRAFIA

- Application of short implants, narrow-diameter implants and guided surgery. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2016;44(10):1630-4
26. Vercruyssen M, Laleman I, Jacobs R, Quirynen M. Computer-supported implant planning and guided surgery: A narrative review. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26(suppl.1):69-76
 27. Scherer MD. Presurgical implant-site assessment and restoratively driven digital planning. *Dent Clin North Am.* 2014;58(3):561-95
 28. Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, Derksen W. Computer Technology Applications in Surgical Implant Dentistry: A Systematic Review. *Int J Oral Maxillofac Implant.* 2014;29(suppl.):25-42
 29. Arisan V, Karabuda ZC, Ozdemir T. Accuracy of two stereolithographic guide systems for computer-aided implant placement: a computed tomography-based clinical comparative study. *J Periodontol.* 2010;81(1):43-51
 30. Arisan V, Karabuda CZ, Mumcu E, Özdemir T. Implant Positioning Errors in Freehand and Computer-Aided Placement Methods: A Single-Blind Clinical Comparative Study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2013; 28(1):190-204
 31. Pozzi A, Tallarico M, Marchetti M, Scarfò B, Esposito M. Computer-guided versus free-hand placement of immediately loaded dental implants: 1-year post-loading results of a multicentre randomised controlled trial. *Eur J Oral Implant.* 2014;7(3):229-42
 32. Fortin T, Isidori M, Bouchet H. Placement of posterior maxillary implants in partially edentulous patients with severe bone deficiency using CAD/CAM guidance to avoid sinus grafting: a clinical report of procedure. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24(1):96-102
 33. Gomes FV, Mattis F, Mayer L. Grau de confiabilidade na reprodução do planejamento virtual para o posicionamento final de implantes por meio de cirurgia guiada : relato de caso. *RFO, Passo Fundo.* 2016;21(1):102-8
 34. Meloni SM, De Riu G, Lolli FM, Pisano M, Deledda A, Frisardi G, et al. Computer-guided implant surgery: A critical review of treatment concepts. *J Oral Maxillofac Surg Med Pathol* 2014; 26: 1-6.
 35. Kühl S, Payer M, Zitzmann NU, Lambrecht JT, Filippi A. Technical accuracy of printed surgical templates for guided implant surgery with the coDiagnostiXTM software. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015; 17 (suppl.1):177-82.
 36. D'Haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, De Bruyn H, Tahmaseb A. Current

BIBLIOGRAFIA

- state of the art of computer-guided implant surgery. *Periodontol* 2000. 2017;73(1):121-33
37. Holst S, Blatz MB, Eitner S. Precision for computer-guided implant placement: using 3D planning software and fixed intraoral reference points. *J Oral Maxillofac Surg*. 2007;65(3):393-9
 38. Younes F, Cosyn J, De Bruyckere T, Cleymaet R, Bouckaert E, Eghbali A. A randomized controlled study on the accuracy of free-handed, pilot-drill guided and fully guided implant surgery in partially edentulous patients. *J Clin Periodontol*. 2018;45(6):721-32
 39. Panagiotis D, Andreas P. *Clinical application of computer-guided implant surgery*. New York: CRC Press; 2014.
 40. Lanis A, Del Canto O. The Combination of Digital Surface Scanners and Cone Beam Computed Tomography Technology for Guided Implant Surgery Using 3Shape Implant Studio Software: A Case History Report. *Int J Prosthodont*. 2015;28(2):169-78
 41. Ludlow M, Renne W. *Digital Workflow in Implant Dentistry*. *Curr Oral Heal Reports*. 2017;4(2):131-5
 42. Yilmaz B. Incorporating digital scans of diagnostic casts into computed tomography for virtual implant treatment planning. *J Prosthet Dent*. 2015;114(2):178-81
 43. Papaspyridakos P, Chen C-J, Chuang S-K, Weber H-P, Gallucci GO. A systematic review of biologic and technical complications with fixed implant rehabilitations for edentulous patients. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2012;27(1):102-10
 44. Ganz SD. Three-Dimensional Imaging and Guided Surgery for Dental Implants. *Dent Clin North Am*. 2015;59(2):265-90
 45. Dusseldorp JK, Stamatakis HC, Ren Y. Soft tissue coverage on the segmentation accuracy of the 3D surface-rendered model from cone-beam CT. *Clin Oral Investig*. 2017;21(3):921-30
 46. Stapleton BM, Lin WS, Ntounis A, Harris BT, Morton D. Application of digital diagnostic impression, virtual planning, and computer-guided implant surgery for a CAD/CAM-fabricated, implant-supported fixed dental prosthesis: A clinical report. *J Prosthet Dent*. 2014;112(3):402-8
 47. Pettersson A, Komiyama A, Hultin M, Näsström K, Klinge B. Accuracy of Virtually Planned and Template Guided Implant Surgery on Edentate Patients. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2012;14(4):527-37
 48. Zhao XZ, Xu WH, Tang ZH, Wu MJ, Zhu J CS. Accuracy of computer-

BIBLIOGRAFIA

- guided implant surgery by a CAD/CAM and laser scanning technique. *Chin J Dent Res.* 2014;17(1):31-6
49. Joda T, Ferrari M, Gallucci GO, Wittneben JG, Brägger U. Digital technology in fixed implant prosthodontics. *Periodontol* 2000. 2017;73(1):178-92
 50. Barone S, Casinelli M, Frascaria M, Paoli A, Razionale A V. Interactive design of dental implant placements through CAD-CAM technologies: from 3D imaging to additive manufacturing. *Int J Interact Des Manuf.* 2016;10(2):105-17
 51. Becker K, Schmücker U, Schwarz F, Drescher D. Accuracy and eligibility of CBCT to digitize dental plaster casts. *Clin Oral Investig.* 2018;22(4):1817-23
 52. Papaspyridakos P, White GS, Lal K. Flapless CAD/CAM-guided surgery for staged transition from failing dentition to complete arch implant rehabilitation: a 3-year clinical report. *J Prosthet Dent.* 2012;107(3):143-50
 53. Oh J, An X, Jeong SM, Choi BH. Digital Workflow for Computer-Guided Implant Surgery in Edentulous Patients: A Case Report. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017;75(12):2541-9
 54. Raico Gallardo YN, da Silva-Olivio IRT, Mukai E, Morimoto S, Sesma N, Cordaro L. Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2017;28(5):602-12
 55. Laleman I, Bernard L, Vercruyssen M, Jacobs R, Bornstein M, Quirynen M. Guided Implant Surgery in the Edentulous Maxilla: A Systematic Review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2017;31:103-17
 56. Ciabattini G, Acocella A, Sacco R. Immediately restored full arch-fixed prosthesis on implants placed in both healed and fresh extraction sockets after computer-planned flapless guided surgery. A 3-year follow-up study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2017;19(6):997-1008
 57. Van Assche N, Vercruyssen M, Coucke W, Teughels W, Jacobs R, Quirynen M. Accuracy of computer-aided implant placement. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23(suppl.6):112-23
 58. Vercruyssen M, Cox C, Coucke W, Naert I, Jacobs R, Quirynen M. A randomized clinical trial comparing guided implant surgery (bone- or mucosa-supported) with mental navigation or the use of a pilot-drill template. *J Clin Periodontol.* 2014;41(7):717-23
 59. Flügge TV, Nelson K, Schmelzeisen R, Metzger MC. Three-dimensional

BIBLIOGRAFIA

- plotting and printing of an implant drilling guide: Simplifying guided implant surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013;71(8):1340-6
60. Greenberg AM. Digital Technologies for Dental Implant Treatment Planning and Guided Surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America.* 2015.
 61. Soares MM, Harari ND, Cardoso ES, Manso MC, Conz MB, Vidigal GM. An *in vitro* model to evaluate the accuracy of guided surgery systems. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2012;27(4):824-31.
 62. Verhamme L, Meijer GJ, Boumans T, de Haan A, Bergé SJ, Maal T. A clinically relevant accuracy study of computer-planned implant placement in the edentulous maxilla using mucosa-supported surgical templates. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17(2):343-52
 63. Stumpel LJ. Deformation of Stereolithographically Produced Surgical Guides: An Observational Case Series Report. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14(3):442-53
 64. Sun Y, Luebbbers HT, Agbaje JO, Schepers S, Politis C, Van Slycke S, et al. Accuracy of Dental Implant Placement Using CBCT-Derived Mucosa-Supported Stereolithographic Template. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17(5):862-70
 65. Van Assche N, Quirynen M. Tolerance within a surgical guide. *Clin Oral Implants Res.* 2010;21(4):455-8
 66. Bover-Ramos F, Viña-Almunia J, Cervera-Ballester J, Peñarrocha-Diago M, García-Mira B. Accuracy of Implant Placement with Computer-Guided Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis Comparing Cadaver, Clinical, and In Vitro Studies. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2017; 33(1):101-15
 67. Schneider D, Schober F, Grohmann P, Hammerle C, Jung RE. In-vitro evaluation of the tolerance of surgical instruments in templates for computer-assisted guided implantology produced by 3-D printing. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26(3):320-5
 68. Tahmaseb A, Van de Weijden JJ, Mercelis P, De Clerck R, Wismeijer D. Parameters of passive fit using a new technique to mill implant-supported superstructures: an in vitro study of a novel three-dimensional force measurement-misfit method. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;25(2):247-57
 69. Papaspyridakos P, Gallucci GO, Chen CJ, Hanssen S, Naert I, Vandenberghe B. Digital versus conventional implant impressions for

BIBLIOGRAFIA

- edentulous patients: Accuracy outcomes. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27(4):465-72
70. Testori T, Robiony M, Parenti A, Luongo G, Rosenfeld AL, Ganz SD, et al. Evaluation of accuracy and precision of a new guided surgery system: a multicenter clinical study. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2014;34 (suppl.):59-69
 71. Oyama K, Kan J, Kleinman A, Runcharassaeng K, Lozada J, Goodacre C. Misfit of implant fixed complete denture following computer-guided surgery. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24(1):124-30
 72. Shelley AM, Ferrero A, Brunton P, Goodwin M, Horner K. The impact of CBCT imaging when placing dental implants in the anterior edentulous mandible: A before - After study. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(4):1-21
 73. Khan M, Elathamna E, Lin W, Harris B, Farman A, Scheetz J, et al. Comparison of Virtual Dental Implant Planning Using the Full Cross-Sectional and Transaxial Capabilities of Cone Beam Computed Tomography vs Reformatted Panoramic Imaging and 3D Modeling. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2015;30(4):814-9
 74. Wismeijer D, Joda T, Flügge T, Fokas G, Tahmaseb A, Bechelli D, et al. Group 5 ITI Consensus Report : Digital technologies. *Clin Oral Implant Res.* 2018;29:436-42
 75. Hämmerle CHF, Cordaro L, van Assche N, Benic GI, Bornstein M, Gamper F. Digital technologies to support planning, treatment, and fabrication processes and outcome assessments in implant dentistry. Summary and consensus statements. 4th EAO Consens Conf. 2015;26(suppl.1):97-101
 76. Huang H, Fuh L, Ko C, Hsu J, Chen C. Biomechanical effects of a maxillary implant in the augmented sinus: a three-dimensional finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24(3):455-62
 77. Contreras I, Contreras G, Bez L, Magini R, Volpato CÁ. Cirugía guiada en implantología. *Rev Odontológica Mex.* 2013;17(2):117-22
 78. Babbush C, Hahn J, Krauser J, Rosenlicht J. *Dental Implants, The Art and Science.* Maryland Heights: Saunders; 2011.
 79. Marchack CB, Chew LK. The 10-year evolution of guided surgery. *J Calif Dent Assoc.* 2015;43(3):131-4.
 80. Lorrio JM, Sierra L, García I, Lorrio C, Gómez R. La rehabilitación con implantes en el paciente edéntulo maxilar mediante cirugía guiada y carga

BIBLIOGRAFIA

- inmediata. *Av Periodon Implantol* 2015; 27: 117-124.
81. Katleen Bragança L, Pato Mourelo J, Díaz Prada FJ, López Castro JJ, Anache A. Rehabilitación fija maxilar con implantes mediante cirugía guiada asistida por ordenador. *Av Odontoestomatol* 2017; 33 (5): 197-203.
 82. Ordoñez B, Jiménez A, Ortiz I, España A, Matos N, Velasco E. Tratamiento de pacientes edéntulos mandibulares con cirugía guiada y carga inmediata. *Av Odontoestomatol* 2018;34(6):285-92.
 83. Velasco-Ortega E, Matos-Garrido N, Ortiz-García I, España-López A, Jiménez-Guerra A, Moreno-Muñoz J, Núñez-Márquez E. Carga precoz con sobredentadura mandibular sobre dos implantes insertados mediante cirugía guiada. *Av Odontoestomatol* 2017; 33:231-238.
 84. Marra R, Acocella A, Rispoli A, Sacco R, Ganz SD, Blasi A. Full-outh rehabilitation with immediate loading of implants inserted with computer-guided flapless surgery: a 3-year multicenter clinical evaluation with oral health impact profile. *Impl Dent* 2013; 22:444-52.
 85. Lanis A, Alvarez del Canto O, Barriga P, Polido WD, Morton D. Computer-guided implant surgery and full-arch immediate loading with prefabricated-metal framework-provisional prosthesis created from a 3D printed model. *J Esthet Restor Dent* 2019;1–10.
 86. Amorfini L, Migliorati M, Drago S, Silvestrini-Biavati A. Immediately loaded implants in rehabilitation of the maxilla: A two-year randomized clinical trial of guided surgery versus standard procedure. *Clin Impl Dent Relat Res* 2017; 19: 280-95.
 87. Albiero AM, Quartuccio L, Benato A, Benato R. Accuracy of computer-guided flapless implant surgery in fully edentulous arches and in edentulous arches with fresh extraction sockets. *Implant Dent* 2019;00:1–9.
 88. Zhou W, Liu Z, Song L, Kuo C, Shafer DM. Clinical Factors Affecting the Accuracy of Guided Implant Surgery—A Systematic Review and Meta-analysis. *J Evidence-Based Dent Pr.* 2018;18(1):28-40.
 89. Vercruyssen M, Hultin M, Van Assche N, Svensson K, Naert I, Quirynen M. Guided surgery: accuracy and efficacy. *Periodontol* 2000. 2014; 66(1):228-46.
 90. Alevizakos V, Mitov G, Stoetzer M, Von See C. A retrospective study of the accuracy of template- guided vs. freehand implant placement: a non-radiologic method. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2019: doi: <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2019.01.009>.

BIBLIOGRAFIA

91. Shen P, Zhao J, Fan L, Qiu H, Xu W, et al. Accuracy evaluation of computer-designed surgical guide template in oral implant logy. *J CranioMaxilloFacial Surg* 2015; 43: 2189-94.
92. Pyo SW, Lim YJ, Koo KT, Lee J. Methods used to assess the 3D accuracy of dental implant positions in computer-guided implant placement: a review. *J. Clin Med* 2019; 8: 54.
93. Chen L, Lin WS, Polido WD, Eckert GJ, Morton D. Accuracy, reproducibility, and dimensional stability of additively manufactured surgical templates. *J Prosthet Dent* 2019.
94. Oliveira N, Garrido N, España A, Jiménez A, Ortiz I, Velasco E. Planificacion de tratamiento con software para cirugía guiada en implantología oral. *Av Odontoestomatol* 2019.
95. Azari A, Nikzad S. Computer-assisted implantology: historical background and potential outcomes- a review. *Int J Med Robotics Comput Assist Surg.* 2008;4:95-104
96. Tallarico M, Meloni SM. Retrospective analysis on survival rate, template-related complications, and prevalence of peri-implantitis of 694 anodized implants placed using computer-guided surgery: results between 1 and 10 years of follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2017;32(5):1162-1171.
97. Suttapreyasri S, Suapear P, Leepong N. The accuracy of cone-beam computed tomography for evaluating bone density and cortical bone thickness at the implant site: micro-computed tomography and histologic analysis. *J Craniofac Surg* 2018;29: 2026-31.
98. Liu J, Chen HY, DoDo H, Yousef H, Firestone AR, Chaudhry J, Johnston WM, Lee DL, Emam HA, Kim DG. Efficacy of cone-beam computed tomography in evaluating bone quality for optimum implant treatment planning. *Implant Dent* 2017;26:405–411.
99. Yamada K, Hoshina H, Arashiyama T, Arasawa M, Arai Y, Uoshima K, Tanaka M, Nomura S. Immediate implant loading following computer-guided surgery. *J Prosthodont Res* 2011; 55: 262-265.
100. Merheb J, Vercruyssen M, Coucke W, Quirynen M. Relationship of implant stability and bone density derived from computerized tomography images. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018;20:50-57.
101. Luongo G, Ciabattini G, Acocella A. *Digital Implantology*. Rho: Quintessence Publishing Italia; 2018.