1. Introducción

La colocación protésicamente guiada del implante ha sido un tema de interés y discusión durante años. La correcta posición del implante dentro de la arcada otorga ventajas, entre otras, el resultado estético, la optimización del diseño de las prótesis final, favoreciendo la respuesta a la carga que éste recibe, garantizando el éxito mantenido en el tiempo. (1) (2)

Además, con la planificación como primer paso en el plan de tratamiento, disminuye la necesidad de aumento óseo previo a la colocación del implante y hasta puede ser eliminada por completo. (3)

En este contexto la Implantología se ha visto muy influenciada por la tecnología desde que ésta ingresó en el área y la imagenología ha sido quizás una de las áreas que más se ha nutrido de esto, otorgándole al especialista una mejor forma de diagnóstico y tratamiento. (4)

La introducción en la Odontología de tecnologías como la tomografía computada (TC), la impresión en tres dimensiones (3D), el diseño asistido por computadora y la tecnología de fabricación asistida por ordenador (CAD/CAM) impulsó un gran cambio y el surgimiento de nuevos conceptos en el tratamiento con implantes dentales. (4)

La conjunción de estos avances en la imagenología en 3D, la creación de nuevos softwares de planificación de los tratamientos con implantes y la instrumentación quirúrgica asociada a estas nuevas tecnologías, han cambiado los paradigmas en el diagnóstico y plan de tratamiento, aumentando las expectativas de éxito en este tipo de tratamientos, logrando disminuir la morbilidad en el paciente y aumentando la posibilidad de trabajar de forma interdisciplinaria. (5)

El manejo de programas informáticos que permiten la visualización en 3 dimensiones de imágenes radiológicas, programas de planificación de tratamientos con colocación de implantes, sistemas de guías de precisión y sistemas de navegación quirúrgica, podrían confluir en el término genérico de Cirugía Guiada.

En la práctica clínica actualmente es posible manejar estas técnicas que están en camino de convertirse en opciones de rutina. Por este motivo es de gran importancia evaluar la precisión que se logra con ellas. (6)

En la actualidad está planteada la discusión acerca de la precisión que presenta este tipo de sistemas y su utilización como instrumento para dar solución a todos los casos, frente al tratamiento realizado con la forma analógica o convencional.

A partir de esto, el presente trabajo tiene como objetivo general estudiar la Cirugía Guiada por Ordenador como herramienta de trabajo en la implantología, exponer su

evolución histórica, definir diferentes conceptos que la conforman y analizar la actualidad de la misma.

Los objetivos específicos serán comparar la precisión lograda con la utilización de las diferentes guías, frente a la instalación de implantes de forma convencional y evaluar su función en casos de alta complejidad.

2. Método

Se realizó una búsqueda bibliográfica a través de PubMed, Timbó, Google Scholar y Cochrane library, acerca de artículos de Cirugía Guiada por ordenador del año 2009 al 2019. Se seleccionaron ensayos clínicos longitudinales sobre todo de los últimos 10 años, dentro de estos se incluían estudios clínicos prospectivos, retrospectivos y estudios clínicos randomizados. Además se complementó con una búsqueda manual donde se incluyeron más artículos, entre ellos, revisiones sistemáticas, meta análisis y estudios in-vitro.

3. Desarrollo

3.1 Evolución histórica.

La implantología basaba la valoración ósea en ancho y altura, mediante un mix de pruebas clínicas, radiografías convencionales (radiografías periapicales, bitewing, ortopantomografías, telerradiografías laterales y frontales), y en algunos casos tomografías computadas (TC) helicoidales, con aplicación de programas pertinentes. Estos estudios a excepción de las tomografías computadas en general daban una pauta bidimensional de la situación.(5)

Los primeros escáneres de tomografía computarizada helicoidales de uso médico fueron todas de un solo corte, utilizadas en general en el ámbito hospitalario. Los escáneres actuales multicorte son capaces de escanear la mandíbula y el maxilar en pocos segundos.

Desde el surgimiento de la CBCT (por su sigla en inglés, tomografía computada de haz cónico) se han desarrollado máquinas con variadas características. Algunos autores destacan que la llegada del software ASIR (reconstrucción iterativa estadística adaptativa) permite una reducción de la dosis de radiación de hasta el 50% en las TC, sin influir en la calidad de la imagen obtenida. (7) (8)

Con la aparición del Dentascan a fines de los años 80 la imagenología utilizada comenzó a tomar otra dimensión. Permitió realizar una valoración en tres dimensiones a través de las guías radiológicas haciendo posible el análisis de la situación ósea en alto y en ancho en relación a la futura prótesis. (5) (9)

Columbia Scientific (CSI) introduce el 3D Dental software en 1988. Dicha herramienta convertía los cortes axiales de TC en imágenes de sección transversal. De esta forma se podía estudiar con mayor exactitud la disponibilidad del hueso para recibir un implante y permitía la planificación de la colocación del mismo de forma que su posición fuese la mejor desde el punto de vista estético y funcional.

En 1991 se introdujo una combinación de software, Image Master -101 que permitió una función adicional como la de colocar implantes dentales gráficos en las imágenes de sección transversal.

En 1993 surge la primera versión de SimPlant, introducida por CSI, permitió la colocación de implantes virtuales de dimensiones exactas en las imágenes de tomografía computada, en los cortes axiales, transversales y panorámicos. (10)

Luego en 1999 con su nueva actualización SimPlant 6.0, se le agrega la representación en 3D de la imagen. En el 2002 la empresa Materialise (Leuven, Bélgica) introduce la tecnología para realizar las osteotomías a profundidad y dirección exactas a través de una guía quirúrgica.

NobelBiocare (Zurich, Suiza) en el 2005 introduce la tecnología NobelProcera/NobelGuide como un sistema completo que incluyó desde la planificación y colocación de implantes, tanto para implantes cilíndricos como para los implantes cónicos. Junto a esto se desarrolla la instrumentación adecuada para la realización de osteotomías de profundidad y dirección precisas, así como la capacidad de realizar cirugías sin necesidad de realizar colgajos. En el 2011 el software recibe una nueva actualización.

En la actualidad todas las marcas que trabajan con implantes presentan su software de planificación de instalación de implantes, y la posibilidad de obtener una guía quirúrgica con el protocolo específico para cada sistema.

3.2 Conceptos y definiciones en Cirugía Guiada

El avance tecnológico influyó en gran medida en el enfoque del tratamiento con implantes. La cirugía asistida por ordenador, en la actualidad, es el área dentro de este tipo de tratamiento, que está experimentando un rápido desarrollo.

En respuesta a este rápido crecimiento de la tecnología en la implantología, en el año 2009 se realizó un consenso que tuvo como tarea evaluar el valor y desventajas de la implantología asistida por computadora, con un enfoque clínico. (11)

Durante este concenso definieron el concepto de Cirugía Guiada como el uso de una guía estática que reproduce la posición virtual del implante para permitir el seguimiento intraoperatorio en tiempo real del fresado, de acuerdo a la trayectoria

planificada. Para esto se emplean guías estereolitográficas durante la perforación e inserción del implante dental. (11) (12)

La Cirugía Guiada dinámica o también llamada Navegación quirúrgica, se refiere al uso de un sistema que reproduce la posición virtual del implante directamente a partir de datos tomográficos computarizados y que permite cambios en el intraoperatorio.

Esta técnica fue realizada por Horsley y Clarke por primera vez en 1908, se inicia con la estereotaxia que fue introducida en el área de la neurocirugía a principios de la década de los años 80. (11)

Se han publicado y en la actualidad continúan publicándose numerosos estudios sobre este tipo de sistemas dinámicos de Cirugía asistida por ordenador y se ha probado y evaluado su alta precisión. Se ha demostrado que las complicaciones en relación a los elementos nobles al momento del tallado del lecho del implante como al momento de la instalación del mismo se pueden reducir utilizando este tipo de sistemas. (13) (14)

En relación a estos nuevos conceptos surge la posibilidad de realizar cirugía mínimamente invasiva o cirugía sin colgajo, ofreciendo la posibilidad de colocar implantes de forma mas rápida y menos traumática comparándola con el método tradicional. Según algunos autores este tipo de intervención estaría indicada para disminuir las molestias que ocasiona la cirugía convencional en el paciente, las secuelas postoperatorias así como para mejorar la respuesta de los tejidos blandos, obteniendo resultados mas confortables para el paciente y para el operador, comparados con los logrados mediante la técnica convencional. (11)

En este consenso, los datos sobre la supervivencia del implante sugieren que la cirugía de implantes sin colgajo es eficaz y clínicamente otorga mejores resultados en el post operatorio de los pacientes respecto a la instalación convencional; sin embargo, según una revisión sistemática de Brodala, no se identificaron pruebas comparativas con respecto a la respuesta de los tejidos blandos. La incidencia medida de complicaciones en el intraoperatorio alcanza un 3,2%, podría ser clínicamente relevante. (11) La introducción de las guías quirúrgicas fabricadas mediante estereolitografía mejoran la precisión en la colocación de los implantes bajo la técnica sin colgajo comparando con la técnica convencional. La estereolitografía es un método asistido por computadora que produce un modelo físico tridimensional mediante la solidificación selectiva de una resina líquida foto sensible, utilizando tecnología de rayo láser. (15)

3.3. Conceptos generales de tecnología.

La tomografía simple que fue desarrollada en la década de ‘30 por Vallabona, y permitió el corte de una estructura anatómica de los órganos circundantes como una serie de imágenes radiográficas simples, es la base de la CBCT. La ortopantamografía proporciona imágenes panorámicas y también es un ejemplo del uso continuo de la tomografía simple. (16)

La tomografía es un estudio paraclínico que permite obtener imágenes por secciones y se realiza mediante la rotación de una fuente de rayos x alrededor de un eje único de una estructura anatómica. Un sensor absorbe los rayos x opuestos a la fuente durante el movimiento del dispositivo. (17)

La llegada de las computadoras permitió el desarrollo posterior de la tomografía simple en un método de imagen 3D más sofisticado. El concepto de tomografía computarizada fue desarrollado independientemente por Hounsfield y Cormack, por lo que recibieron el Premio Nobel en 1979. Hounsfield, creó el primer escáner CT que tomó imágenes del cerebro y luego de todo el cuerpo utilizando la técnica del haz de abanico. Con los avances en la tecnología informática y de centelleo, se construyeron máquinas de escaneo CT (helicoidales) en espiral. (16)

Los escaneres CT/CBT permiten visualizar la anatomía en sus tres dimensiones. Lo que nos da un aspecto muy cercano a la realidad acerca del ancho y alto del hueso disponible para recibir el implante asi como tambien el grosor de los tejidos blandos, la proximidad y anatomía de las raíces de dientes vecinos existentes, la ubicación de cavidades comunes, como ser senos maxilares, fosas nasales; y la relación con otras estructuras vitales, como el canal mandibular, el agujero metoniano.

A su vez, estas imágenes detalladas logradas en los escaners, permiten relacionar diferentes tipos de información pudiendo ser trasladadas a los sistemas de planificación de cirugía guiada y realización de guías quirúrgicas, y es en ese momento donde el clínico puede planificar el tratamiento mediante la colocación de implantes para la anatomía individual en cada caso.

Esta planificación se ve favorecida con la utilización de marcadores de referencia fiduciales radiopacos que pueden colocarse en la prótesis en uso del paciente, si es se va a utilizar como guía para la imagen, o bien, la guía realizada por el técnico de la forma que lo crea conveniente. Luego, el sistema informático utiliza estos marcadores de referencia para posicionar virtualmente el dispositivo escaneado y con él los parámetros de las restauraciones planificadas en relación con el maxilar del paciente. (5)

Las tecnologías guiadas por CT/CBCT también le permiten al cirujano predecir el

volumen del material de injerto necesario para aumentar un área del maxilar hasta obtener la altura deseada de hueso. Se están investigando y desarrollando nuevas tecnologías en las que se pueden personalizar los injertos en bloque, creados después de evaluar defectos óseos a partir de datos obtenidos en las imágenes generadas. (5)

El uso de estas tecnologías permite la visualización y evaluación de la anatomía distorsionada sin hacer una incisión. Los implantes dentales se pueden colocar de forma precisa y predecible con un conocimiento claro de la anatomía ósea disponible, sin colgajos y por lo tanto manteniendo la nutrición que llega a través del periostio.

La comunicación o integración de la información obtenida y procesada en los escaners CT y CBCT se realizan a través del formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medical). DICOM como formato estándar permite la integración de servidores, escáneres, impresoras, estaciones de trabajo y hardware de red de diferentes fabricantes en un sistema de archivo y comunicación de imágenes.

Existen varios tipos de escaneres CT: el llamado haz en abanico convencional y el helicodial (también llamado espiral). (Ilustración 1) (17)

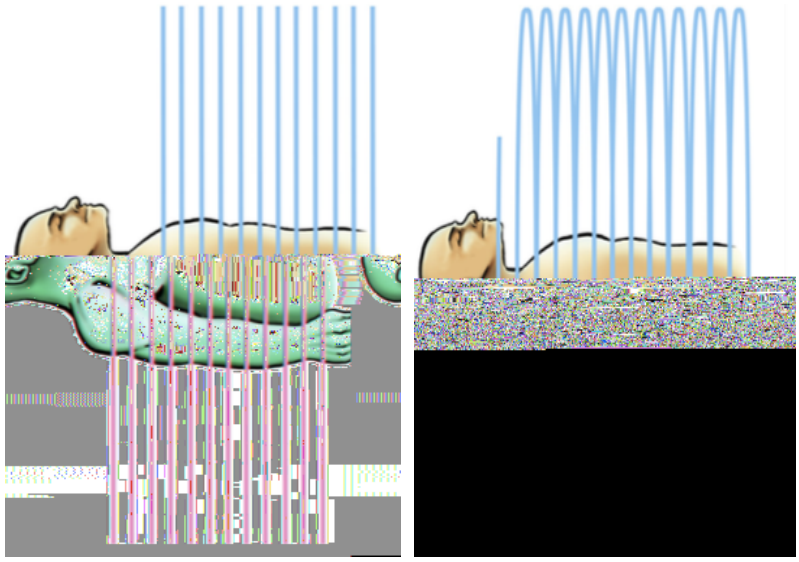

Ilustración 1- Extraído de Alex M. Greenberg, DDS. Cone Beam Computed Tomography Scanning and Diagnosis for Dental Implants

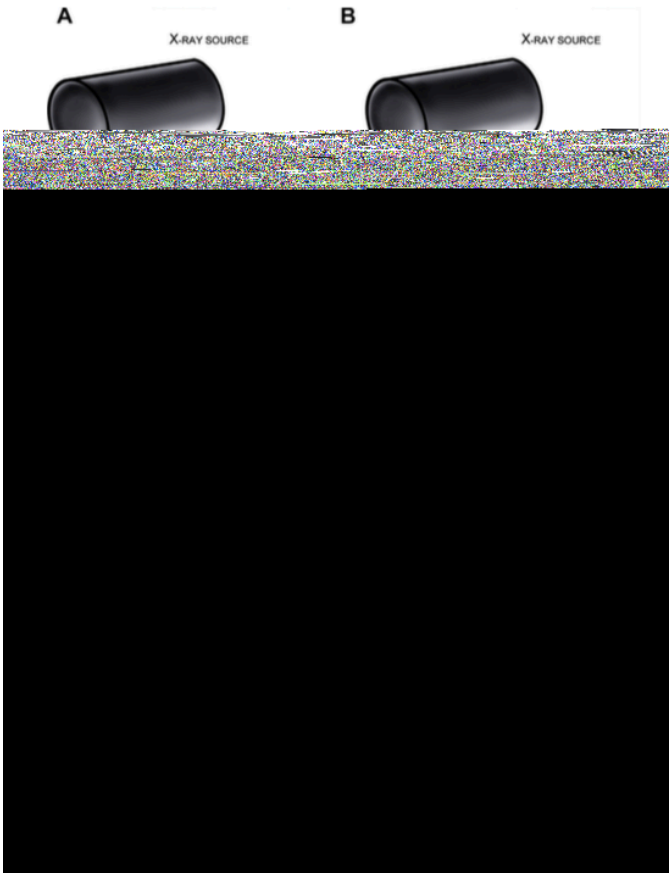

Ilustración 2- Extraído de Alex M. Greenberg, DDS. Cone Beam Computed Tomography Scanning and Diagnosis for Dental Implants

A.(Haz en abanico CT scanner). **B.**(CBCT scanner). **C.**(FP CBCT scanner for sit-down or stand-up unit.

El tomógrafo CBCT emite un haz divergente en forma de cono que gira alrededor del paciente. La imagen es adquirida como un volúmen y no como un plano. El haz de forma de abanico necesita apenas un giro alrededor del paciente. Luego las imágenes tridimensionales se calculan a partir de algoritmos sofisticados del sistema informático del escáner que procesa la serie de cortes individuales. Existen diferentes tipos de escáneres de acuerdo a la posición que debe adoptar el paciente al momento del registro de la imagen, es así que el paciente puede estar sentado, de pie, acostado, así como también pueden ser fijas o móviles. (Ilustración 2)

El CBCT ha reducido significativamente la dosis de radiación para el escaneo de pacientes en un entorno dental en comparación con el envío de pacientes a realizarse tomografías computarizas helicoidales de tipo médico. Con el avance de estas tecnologías ha habido una mayor preocupación con respecto a la exposición de la población a la radiación de estos dispositivos. Lo que ha llevado a realizar una gran cantidad de investigaciones para establecer la relación entre la exposición y la aparición del cancer por radiación.

Existe una correlación directa entre el gran aumento en el número de escáneres de

TC médicos disponibles y la alta utilización de este método de imagen, por lo que la TC contribuye al aumento general de la exposición a la radiación de los pacientes. En el año 2007 hubo 72 millones de estudios en los Estados Unidos que informan que el aumento de la tasa de cáncer es insignificante en comparación con los que resultan de la exposición a la radiación ambiental de fondo. (17)

Cuando se planifica la instalación de implantes dentales y aún más cuando se considera realizarlo a través de la cirugía guiada, es relevante la comprensión de la verdadera realidad anatómica y visualizar con precisión las estructuras vitales adyacentes. (18)

En la actualidad, los escáneres CT helicoidales obtienen 64 o más cortes contiguos por estudio de 1 a 5 mm de espesor, dependiendo del escáner. El procesamiento de volúmen CBCT permite la reconstrucción de imágenes en 3 dimensiones a partir de vistas multiplanares; lo que favorece la comprensión de la situación anatómica.

En general, el conjunto de datos tridimensionales permite la inspección de las vistas esenciales:

1. Las secciones transversales u horizontales
2. Las secciones coronales o frontales.
3. Las secciones sagitales.
4. La vista panorámica.
5. La reconstrucción tridimensional. (18)

Otro beneficio de estas imágenes obtenidas a través de estos estos sistemas es la capacidad de fabricar modelos tridimensionales mediante esterolitografía, impresión rápida y prototipados rápidos. Estos modelos se crean a partir de datos formateados como archivos de biblioteca de plantillas estándar o también nombrados como lenguaje de triangulación estántar (STL, por su sigla en ingles).

La CBCT se convirtió en una tecnología importante para los profesionales de la cirugía oral y maxilofacial, que proporciona una mejor capacidad de diagnóstico y alpicaciones para procedimientos quirúrgicos, como la guía de CT mediante el uso de guías de quirúrgicas generadas por computadora. Es de gran relevancia por lo tanto un conocimiento de la ciencia básica de esta tecnología que usamos habitualmente así como la capacidad de interpretar imágenes de manera correcta y completa. (19)

Como se mencionó anteriormente las imágenes obtenidas por los escaneres pueden importarse a programas patentados que le permiten al clínico colocar virtualmente implantes dentales en una computadora para la planificación del tratamiento.

Todas las aplicaciones de software permitirán la fabricación de guías a través de

técnicas de esteriolitiografía o por medio de fresadoras. La mayoría de estas aplicaciones de softwear son abiertas, esto quiere decir que permite planificar y crear una guía producida por el fabricante utilizando implantes dentales de otras marcas, los cuales están disponibles en su biblioteca virtual.

La mayoría de los principales fabricantes de implantes dentales tienen su kit de instrumentos quirúrgicos específicos para la instrumentación, que incluye la secuencia de perforación de la osteotomía del implante con topes de profundidad, la angulación y la colocación final completamente guiada del implante a la profundidad planificada. (19)

Los programas de planificación tienen la capacidad de:

1) Realizar mediciones lineales y angulares detalladas.
2) Evaluar anatomía ósea en vistas transversales, panorámicas y axiales.
3) Aislar, identificar y extraer el nervio alveolar inferior y otras estructuras vitales.
4) Visualizar y aislar raíces de dientes e implantes.
5) Colocar, medir y modificar virtualmente la posición de los implantes dentales en las imágenes óseas en relación con las restauraciones planificadas y otras estructuras anatómicas.
6) Visualizar pilares adecuados para la futura rehabilitación.
7) Visualizar, mover, rotar, permitir el enfoque de imágenes 3D, detalladas de la anatomía ósea.
8) Cargar digitalmente el plan de tratamiento virtual para la realización de una guía quirúrgica basada en el mismo o cargarlo en una fresadora.

Actualmente los sistemas incorporan tecnologías digitales más nuevas en su flujo de trabajo, como son, la adición de dientes virtuales, pilares personalizados, escaneos ópticos intraorales de pacientes y/o impresiones o modelos y encerado diagnóstico. (19)

3.4. Clasificación de la crugía guiada por computadora.

a- Cirugía guiada dinámica o por sistemas de navegación óptico. (Dynamic computer assisted implant surgery systems - CAIS)**.**

Se han desarrollado diferentes técnicas para la cirugía de implantes odontológicos guiadas por computadora, por lo que se puede dividir en dos grandes técnicas; la que utiliza guías esteriolitográficas y por otro lado la navegación quirúrgica mediante técnicas de seguimiento óptico.

La navegación quirúrgica ubica un punto en las tres dimensiones del espacio en una exploración de imagen 3D y reproduce esa misma posición en el paciente

mediante un sistema de registro de coordenadas 3D. Esto se instrumenta a través de una cámara infrarroja y unos marcadores que se colocan en el paciente y en la instrumentación que utiliza el cirujano. De esta forma el operador observa en un monitor el estudio radiológico que se realizó previamente, mientras se mueve dentro de la boca del paciente con el instrumento. (9)

Ese tipo de cirugía guiada es posible a través del proceso denominado co-registro, que resulta de la identificación de los localizadores del paciente y del instrumental rotatorio.

La cirugía guiada por el seguimiento óptico le permite al operador variar la planificación en cuanto a posición del implante se refiere, haciendo este sistema flexible y plausible de cambios al momento de realizarlo.(20)

b- Colocación estática de implantes guiada por computadora. (Static Computer Guided Implant Placement - SCGIP)

- **Método de fabricación de las Guías**.

Se pueden clasificar entre las que se realizan de forma **convencional** o las que se realizan de forma **digital**.

En este trabajo nos vamos a referir a la cirugía guiada por computadora, por medio de la utilización de guías de precisión, obtenidas por la tecnología CAD-CAM.

Las guías obtenidas de forma **convencional** o analógica son realizadas a través de un proceso de laboratorio, comenzando desde un encerado diagnóstico, al cual se le realiza un duplicado. En este modelo obtenido se estampa una placa de acetato, que reproducirá el contorno del encerado diagnóstico y a la que se le agregan materiales radiopacos que servirán luego para la realización del estudio tomográfico. Estos indicadores radiopacos darán una orientación de la futura corona (mezcla de acrílico con sulfato de bario) o de la vía de acceso al tallado del lecho del implante (tubos de gutapercha, material de obturación temporaria), así como también ayudarán en la evaluación de la necesidad de realizar algún tipo de procedimiento de regeneración para la recepción del implante en la zona. En primera instancia estas guías servirán de apoyo imagenológico simplemente, si se obtiene un buen resultado en esa planificación se pueden tomar como guías quirúrgicas.

Estas guías permiten realizar modificaciones a través de la realización de desgaste de las mismas, si bien no le otorgan una instalación totalmente guiada del implante al operador, darán pautas de posicionamiento de la futura rehabilitación en la instancia clínica, por lo que son una buena herramienta al momento de la instalación del implante y su posicionamiento en las tres dimensiones del espacio,

pero sobre todo darán una referencia más certera de donde debe estar posicionada la emergencia del implante en el sentido vestíbulo-palatino o vestíbulo lingual.
Dentro de esta clasificación se pueden introducir las prótesis que están siendo utilizadas o que serán realizadas para utilizar de forma provisional, a las cuales se les puede adicionar estos materiales radiopacos que fueron nombrados anteriormente.

- **Método de fabricación digital.**

El método de fabricación digital parte también de un encerado diagnóstico, este puede ser realizado tanto en su versión tradicional como de forma digital. Puede partir también de la información captada por un escáner de mesa o a través de un escáner intraoral. Estos datos obtenidos sumados a los que surgen de los estudios tomográficos, se sincronizan para poder realizar la colocación virtual del implante dentro del software de planificación según el diseño de la futura prótesis.
Las guías obtenidas de forma digital se pueden dividir a su vez según:

- **Método de obtención.**

Esta división está dada por el tipo de procedimiento que se realiza para lograr exportar la guía planificada dentro del sistema informático. Entonces tendremos:

1. La técnica de impresión **por sustracción o fresado**,
2. A través de procedimientos de prototipado rápido **de adición** (impresión 3D). Esta tecnología utiliza resinas líquidas fotopolimerizables que se solidifican cuando son expuestas a la luz ultravioleta.

Las guías están fabricadas en SLA (Resina Acrílica USP c.VI aprobada por la FDA).

- **Método de trabajo.**

Existen dos tipos diferentes de guías dentro de este punto, el protocolo de **guías múltiples** que utiliza más de una guía, a medida que se va avanzando en el tallado del lecho receptor del implante y variando conforme vaya cambiando la fresa a utilizar. Estas guías permiten una secuencia de fresado más libre y una reflexión de los tejidos blandos. Como inconveniente presentan la inexactitud al cambiar y reposicionar la nueva guía en el medio de la secuencia de fresado. Además, al no poder fijarse, si carecen de buena retención pueden llegar a ocupar varias manos, lo que dificulta el procedimiento.
Por otro lado la **guía única**, la cual se puede estabilizar y mantener en una posición a través de tornillos de fijación (sobre todo en las que son mucosoportadas) o se puere utilizar simplemente apoyada y retenida por los dientes remanentes, lo cual permite también que sea removida. Está perforada por cilindros por donde se van a colocar las fresas del protocolo seleccionado o por donde se pueden colocar intermediarios que guían a la fresa que talla el lecho.

Este protocolo al utilizar una única guía otorga mayor porcentaje de exactitud al momento de instalar el implantes.

- **Tipo de orientación.**

En este caso se pueden dividir en guías de **orientación parcial** y las guías de **orientación total**.

Dentro de las primeras encontramos a las también llamadas **guias de inserción** o **guías piloto**, en donde la misma está atravesada por un tubo metálico, el cual va a guiar únicamente a la primera fresa del protocolo. Estas guías dan una orientacion de la posición tanto vestibulo-lingual o palatina como mesio-distal facilitando así la ubicación de la primera fresa, la que tiene un tope según el largo del implante que se colocará.

Este tipo de guías le otorgan al técnico la posibilidad de ubicar correctamente la futura plataforma del implante sobre la cresta ósea, así como la inclinación vestíbulo lingual o mesio distal pero requieren de un continuo control de la dirección del tallado por parte del operador ya que es muy fácil desviarse con las siguientes fresas. En los casos en que se decide usar este tipo de guías, es útil complementarlas con una segunda guía, de confección convencional, que ayude a controlar la dirección del tallado con las fresas posteriores a la inicial. Con este tipo de guías difícilmente se pueda realizar una técnica sin acceder a través de un colgajo de espesor total.

Por otro lado existen las **guías de orientación total**, también llamadas **Guías Safe** en algunos sistemas. Son aquellas que guían el protocolo desde el comienzo hasta la colocación del implante. El sistema en este caso debe contar de todos los instrumentos necesarios para realizar la cirugía guiada. Estará formado por una caja de guías de fresado y un kit quirúrgico, estas dos cosas pueden ser específicas para cada tipo de implante. En general los sistemas de las distintas marcas son muy similares y pueden presentar diferencias en el tipo de conexión o el diseño de los implantes.

Un elemento que es común denominador dentro de todos los sistemas, es la llamada **hoja de ruta**, la cual es suministrada por el fabricante.

Dependiendo del sistema, en la hoja se aportan datos relativos a la planificación realizada, como ser tipo de soporte, diámetro y longitud de los implantes que se van a colocar, asi como los datos referidos a los componentes del sistema que deben utilizarse para realizar el protocolo de fresado e instalación del implante. Este sistema mejora la exactitud de la instalación del implante, permite en casos favorables, realizar una cirugía mínimamente invasiva, sin necesidad de acceder a través de la realización de un colgajo.

- **Soporte**

El tipo de soporte puede ser dentario, mucoso u óseo.

Las guías de **soporte dental**, o **dentosoportadas** se utilizan en pacientes parcialmente edéntulos y en algunos casos donde pronto serán completamente edentulos, en donde los dientes presentes sirven para posicionar la guía. Algunos autores plantean que son las que tienen mayor precisión en comparación con las otras.

En cuanto a las guías de **soporte mucoso**, o **mucosoportadas** varias investigaciones discuten acerca de la precisión que se puede obtener en la colocación del implante a través de ellas y los factores que pueden influir al utilizarlas, como la densidad ósea, espesor de la mucosa, técnicas quirúrgicas, hábitos de fumar, y longitud del implante. (21)

Las **guías de soporte óseo** se pueden usar en casos de pacientes completamente edéntulos, especialmente cuando existe una atrofia significativa de la apófisis alveolar y el asentamiento preciso de una guía con soporte de mucosa es cuestionable.

Esta guía es cuestionada por algunos autores ya que es necesario abordar a través de un colgajo de gran extensión y de espesor total para exponer el hueso en los sitios donde se planificó previamente la colocación del implante y en las áreas adyacentes, para un asiento de la guía completamente estable.

3.5. Indicaciones de las guías quirúrgicas.

Gracias a la precisión y exactitud que se logra en la instalación de implantes dentales utilizando guías quirúrgicas mediante procedimientos mínimamente invasivos, se puede argumentar el uso de la cirugía guiada en la mayoría de los procedimientos de colocación de implantes.

Como en toda técnica el clínico debe determinar la relación costo, tiempo, beneficio en función de la individualidad de cada paciente. Es necesario valorar bien en este tipo de tratamientos el tiempo de planificación con, el gasto adicional que esto genera, y la exposición adicional a la radiación al paciente, porque pueden llegar a superar los beneficios clínicos. (19)

Varios autores coinciden en que la cirugía guiada por TC es mas beneficiosa para el paciente y el equipo odontológico para las siguientes indicaciones:

- Tres o más implantes seguidos.
- Casos de pacientes completamente edéntulos o que pronto serán completamente edéntulos.

- Casos en los que se planifican implantes inclinados, incluido el método “all on four”.
- Proximidad a estructuras anatómicas vitales (Nervios, senos nasales, dientes vecinos, piso de fosas nasales).
- Volumen óseo cuestionable.
- Posición del implante crítica para la restauración planificada.
- Colocación del implante sin colgajo.
- Arcos completos, con o sin extracciones y colocación inmediata, en los que se planifican restauraciones provisionales inmediatas.
- Alteración significativa del tejido blando o anatomía ósea por cirugía previa o trauma.
- Pacientes con morbilidad físicas, ortopédicas, médicas y psiquiátricas.(19)

Maximizar la comodidad del paciente minimizando el trauma es la razón y la indicación fundamental para utilizar los procedimientos mínimamente invasivos, y la cirugía guiada provee la herramienta para realizarlo de esta manera. (19)
Una ventaja de utilizar la cirugía guiada, cuando está indicada en casos complejos, es la posibilidad de fabricar una restauración provisoria basada en el plan de tratamiento virtual con implantes antes de la cirugía, por el mismo sistema de fresado por el cual se realiza la guía de diseño CAD CAM. (19)

- Desventajas de la Cirugía Guiada**:**
    - **Aumento de la temperatura** durante el tallado. (22) (23)
    - **Técnica flapless**, en sectores con escasa banda de tejido queratinizado, donde estaría más indicada una cirugía a colgajo, en lugar de la utilización de un punch. (24)(25)
    - **La apertura oral**, debe ser evaluada así como también la longitud de las fresas que se van a utilizar. En general, cuando se usan las guías quirúrgicas se requiere un mínimo de espacio de 35 mm de apertura oral para que el cirujano coloque las fresas correctamente en los orificios de la guía: se necesitan 20 mm para las fresas, 10 mm de distancia entre el tubo metálico que guía y el extremo cervical del implante y 5 mm del grosor de la cabeza del contraángulo. (26)
    - **Aumento de costos.**

3.6. Anatomía en cirugía guiada.

Una ventaja importante de la cirugía guiada por TC es el conocimiento preciso de la ubicación de las estructuras anatómicas subyacentes. Sin embargo, el especialista debe conocer e imaginar anatómicamente el recorrido exacto que se va a hacer para saber actuar frente a los posibles imprevistos que se pueden presentar en el intraoperatorio.

El uso de estos sistemas de planificación de implantes dentales es altamente útil en casos donde se necesitará realizar un injerto óseo para preparar la zona receptora del o los implantes, estos programas digitales le permiten al técnico determinar y valorar el hueso en cantidad y calidad. (27)

En relación al maxilar; participa y está en relación con tres cavidades, la cavidad oral, la cavidad orbitaria y las fosas nasales. La forma del reborde residual del maxilar superior se puede ver modificado en casos de graves atrofias como resultado de un edentulismo prolongado o en relación a un evento traumático, caracterizándose por la pérdida de ancho y alto de la cresta ósea.

Presenta un patrón de reabsorción de forma centrípeta y vertical, de esta forma el maxilar completamente edéntulo se ve más estrecho y corto que la arcada dentaria original.

Se debe tener en cuenta que el maxilar presenta amplias depresiones que marcan la irregularidad de la superficie anterior como son las concavidades alveolares, porque producen una disminución de la cantidad ósea en el sentido vestíbulo-palatino, estas están representadas por la fosa incisiva, localizada entre el incisivo lateral y la eminencia canina, en relación al ápice del incisivo lateral, y la fosa canina, ubicada por detrás de la eminencia canina.

La zona posterior del maxilar presenta una alta frecuencia al edentulismo parcial, gran fuerza masticatoria, baja densidad ósea, existiendo menos hueso compacto y mas hueso areolar. (9)

Las estructuras regionales maxilares como los senos maxilares, las apófisis pterigoides, la tuberosidad, el piso de fosas nasales, el conducto nasopalatino, son elementos claves en la valoración de la anatomía del terreno donde se va a instalar el o los implantes, puesto que pueden presentar variantes.

En cuanto al seno maxilar, presenta una forma trapezoidal cuya base mayor forma la pared nasal o tabique inter-sinuso-nasal y su base menor hacia lateral, extendiéndose hacia el hueso cigomático. Cumple las funciones de: dar resonancia a la voz, colaborar con la función olfatoria, humidificar y calentar el aire inspirado y disminuir el peso del cráneo.

Tapizado por dentro por una membrana (membrana de Schneider) la cual se puede

presentar más engrosada, más delgada, o modificada por la presencia de algún tipo de patología que pudiera haber existido anteriormente o existente en la actualidad, como podrían ser, enfermedad sinusal crónica, lesiones periapicales dentarias, mucoceles, dientes retenidos con o sin quistes, así como también cirugías previas.

Esta cavidad neumática se ve influenciada también por la pérdida dentaria, generando de esta forma una reabsorción de la apófisis alveolar desde apical a oclusal, disminuyendo la altura de la apófisis alveolar, sobre todo en el sector posterior del maxilar por la presión generada por el aire dentro de la cámara y la falta de respuesta del proceso alveolar por la ausencia de piezas dentarias.

Se pueden ver variaciones de tamaño de la cavidad por las prolongaciones o recesos, hacia la apófisis alveolar, hacia palatino, cigomático, tuberosidad o hacia la órbita. Puede también presentar tabiques, los que pueden ser completos, donde se queda dividido en dos cavidades totalmente independientes, o pueden ser incompletos, según la literatura la presencia de estos septos puede variar entre un 16% y un 58% (9)

El agujero incisivo puede variar en su ancho de 1,8 a 5,5 mm y da lugar a la desembocadura del conducto nasopalatino; esta variación en el tamaño y ubicación puede influir en la capacidad de colocar implantes dentales que reponen los incisivos centrales. El conducto ensanchado puede confundirse radiográficamente con la presencia de un quiste del conducto nasopalatino, se debe realizar el diagnóstico diferencial.

Estas diferencias anatómicas pueden guiarnos hacia diferentes tratamientos terapéuticos buscando la mejor opción al momento de instalar un implante en la zona, desde la elevación de la membrana sinusal, por sus diferentes vías y técnicas, hasta la colocación de implantes en zonas más alejadas y menos adaptadas para la recepción fuerzas, como son la tuberosidad o la apófisis pterigoides. La cirugía guiada por computadora puede dar la herramienta para evitar estas alteraciones y controlar la posición del implante, dando también la posibilidad de planificar pilares personalizados.(27)

En lo que respecta a la estructura anatómica mandibular, la forma que presenta el proceso alveolar tiene una tendencia a ser más triangular o piramidal si se compara con el maxilar. El patrón de reabsorción se presenta a la inversa que el del maxilar, y de forma progresiva provoca la desaparición en mayor o menor medida de los procesos alveolares. Este problema se presenta particularmente importante en los pacientes que llevan largo tiempo siendo totalmente edéntulos. En cuanto a las corticales, generalmente se presentan con un espesor muy fino tanto la cortical vestibular como la lingual, separadas por un gran espesor de tejido esponjoso en

general poco denso, muy areolar.

En la cara vestibular mandibular, en la línea media, se encuentra una eminencia o cresta, la sínfisis mentoniana que termina por debajo de la eminencia mentoniana. Desde aquí surge a cada lateral una cresta, la línea oblicua externa, que se dirige hacia atrás y arriba y se continúa con el borde anterior de la rama ascendente. Por encima de la línea oblicua está el agujero mentoniano. La fosa mentoniana, es una depresión de la superficie vestibular que se ubica a los laterales de la línea media y por encima de la protuberancia mentoniana.

Para destacar de la superficie lingual; en la linea media se encuentran las apófisis geni, donde se van a insertar los músculos geniogloso y geniohioideo, en el sector lateral surge la línea oblicua interna o milohioidea. Esto genera una división en la cara interna mandibular, dejando una zona superior más alta por delante que por detrás, la llamada fosa lingual y aloja a la glándula sublingual. El otro compartimiento inferior, más posterior es la fosa submandibular, que aloja a la glándula que lleva el mismo nombre.

Este accidente anatómico particularmente en el sector posterior, presenta una variación, sobre todo cuando hay una gran reabsorción del proceso alveolar que se lo conoce como balcón mandibular, el que se debe tener en cuenta al momento de la instalación de implantes en el sector posterior, ya que si no se toma en cuenta, se puede caer en dicha fosa durante el tallado.

En cuanto al agujero mentoniano, en el paciente dentado puede presentar hasta seis variaciones. Generalmente se ubica entre premolares en la zona apical. Esta variación es considerable en el parcialmente edéntulo y en el totalmente edéntulo donde se puede presentar incluso en la cresta del reborde alveolar residual, lo que es relevante tener en cuenta al momento de realizar incisiones y disección de tejidos blandos.

Se han encontrado agujeros mentonianos accesorios en un 7% de los pacientes. De acuerdo a un estudio de Jacobs y colaboradores, los **canales incisivos mandibulares** se observan en el 93% de las tomografías computarizadas.

El **conducto alveolar inferior** atraviesa la mandíbula de lado a lado, comenzando en la cara interna de la rama mandibular dirigiéndose hacia abajo y adelante, describiendo una curva cóncava hacia delante y hacia arriba. Radiográficamente el conducto se aprecia como una banda radiolúcida limitada por la compacta ósea que se observa como dos delgadas líneas raiopacas una por encima y otra por debajo de esta banda. Contiene al paquete vascular y nervioso alveolar inferior.

La estimación del canal generalmente se realiza de forma manual por el técnico imagenólogo, el programa realiza una estimación basada en los puntos finales

seleccionados y cuando se completa colorea el canal para facilitar la visualización del operador. Según un estudio realizado por Kuribayashi se han observado canales mandibulares bífidos en el 15,6% de los pacientes. (27)

3.7. Precisión en Cirugía Guiada.

La precisión de un procedimiento guiado por imagen es definida como la desviación en la localización o el ángulo de los valores planificados comparados con los resultados obtenidos e incluye todos los errores posibles desde la adquisición de la imagen hasta el posicionamiento de los implantes en la cirugía.

Estos errores son acumulativos. Se debe tener en cuenta para calcular los errores y la precisión, varios detalles en el proceso de planificación y tratamiento, como son; precisión de la imagen, que va a depender del grosor de los cortes y la influencia de posibles artefactos existentes. Precisión en la transferencia de la planificación virtual a la zona quirúrgica. Precisión en la navegación y precisión en la realización de la guía quirúrgica. (9)

El flujo de trabajo de planificación y tratamiento de implantes guiados por computadora se desarrolló para mejorar la exactitud en la colocación de los implantes a la vez de colocarlos de una forma mínimamente invasiva, mejorando las experiencias postoperatorias del paciente y el resultado del caso. (19)

En 2017 Tahmaseb y colaboradores, en su revisión sistemática y meta-análisis plantean una serie de pasos en la secuencia del flujo de trabajo digital para la cirugía guiada, de la siguiente manera; adquisisión de datos volumétricos, procedimientos de escaneo de superficie mediante el escaneo intraoral o escaneo de modelos, software de planificación por computadora, fabricación de guías quirúrgicas mediante fresado asistido por computadora (CAM) o impresión en 3D. Los autores plantean que el técnico debe reconocer y entender las limitaciones dentro de cada paso de la secuencia para comprender por qué se producen los errores de precisión en la posición de los implantes colocados mediante la cirugía guiada. (28)

- **Factores a evaluar para determinar el grado de precisión de la técnica:**

Para evaluar la precisión lograda mediante la cirugía guiada por computadora, debe evaluarse la desviación entre la planificación virtual del implante y la posición postoperatoria. (29)

Gran número de artículos que evalúan la precisión en la instalación de implantes dentales a través de una guía quirúrgica toman en cuenta tres aspectos de la posición final del implante colocado:

1- Desviación coronal, medida en milímetros, es generalmente definida como la distancia horizontal o vertical (profundidad) entre un punto ubicado sobre el eje axial en el centro de la plataforma del implante planificado y el mismo punto ubicado en el implante colocado finalmente.
2- Desviación apical, distancia medida en milímetros, frecuentemente definida como la distancia horizontal o vertical entre un punto ubicado sobre el eje axial en el centro del ápice del implante planificado y el mismo punto ubicado en el implante instalado.
3- Desviación angular, medida en grados, es la diferencia angular de las proyecciones axiales de las ubicaciones del implante planificado y el implante instalado finalmente. (Ilustración 3).

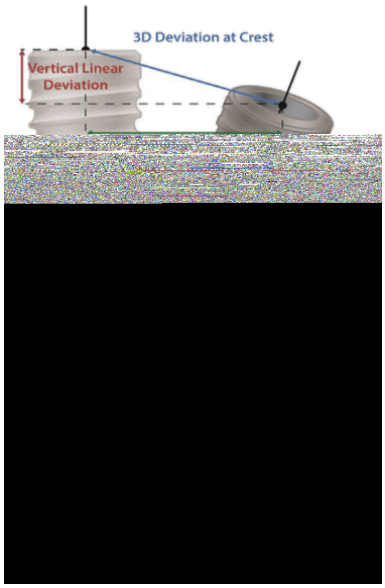

Ilustración 3 Extraído de Karim El Kholy, Janner Simone, Shimmel Martin, Buser Daniel. The influence of guided sleeve height, drilling distance, and drilling key length on the accuracy of static Computer-Assised Implant Surger

- **Factores de Desvío Potencial:**

  Un factor de error que debe ser de los primeros a ser considerados cuando se está pensando en utilizar un sistema de Guía de Presición, es el de la sumatoria de errores durante el procesos de planificación registros y elaboración de dichas Guías, a saber:

- La toma de impresión a partir de la cual se va a elaborar el modelo sobre el que se va a desarrollar la guía, debe ser de una máxima calidad. Debe abracar la totalidad de la arcada dentaria, y debe ser realizada en silicona y no en alginato.

- La confección del modelo debe ser realizada con yesos extra duros de la mejor calidad.
- La toma de imágenes debe ser hecha siguiendo todos los pasos que exige el protocolo para obtener la mejor imagen.
- Debe evitarse, en lo posible, imágenes parciales de los maxilares.
- Se debe tener en cuenta que la presencia de restauraciones metálicas en los dientes remanentes de los pacientes generan imágenes distorsionadas, que agregan factores de error.
- Cuando se utilizan prótesis removibles durante el proceso de obtención de imágenes, se debe tener especial cuidado en que dichas prótesis tengan una muy buena estabilidad sobre el terreno mucoso, lo cual puede significar en muchos casos la necesidad de rebasados previos. También es fundamental evaluar la estabilidad oclusal de dicha prótesis, situación que debe ser verificada antes de la maniobra de rebasado, ya que es un error muy frecuente el no advertir que cuando el paciente ocluye la prótesis cambia de posición con respecto al terreno.
- Por último, es imprescindible corroborar el ajuste de la guía en la boca del paciente antes de comenzar la cirugía.
- Cuando se trata de maxilares parcialmente desdentados, los técnicos realizan "ventanas" de corroboración de ajuste, donde se puede ver fácilmente si la guía toma perfecto contacto con alguno de los dientes remanentes.
- En caso que alguna de las etapas que fueron enumeradas exponga alguna falla, se debe considerar la no realización de la técnica, o al menos tomar precauciones extras, como podría ser por ejemplo la realización de un colgajo, para verificar la colocación de los implantes durante el procedimiento.
- Otro factor importante a tener en cuenta y que puede influir es la experiencia del operador. Estas técnicas no son un salvavidas para técnicos sin experiencia, y en estos casos se deben extremar las precauciones para no caer en errores.

1. **Tipo de soporte (mucoso, óseo, dentario)**

La precisión de las guías quirúrgicas utilizadas en CAIS se vió significativamente afectada por la cantidad y el tipo de dientes utilizados para su soporte. Las guías soportadas por cuatro dientes no fueron significativamente diferentes que las guías con soporte de arco completo respecto a su precisión. El soporte de las guías en dientes posteriores se asoció con un mayor nivel de precisión, en comparación con el soporte de guía de dientes anteriores. Los implantes colocados en alvéolo fresco se asociaron con valores de desviación angular y 3D significativamente más altos,

así como también los tuvieron las guías quirúrgicas con brechas a extremo libre. (30)

El error de presición más común ocurre durante la colocación de guías quirúrgicas con soporte de mucosa; el posicionamiento inexacto de la guía afecta la precisión, la cual se ve más afectada por un movimiento traslacional que por un movimiento rotacional. (31)

2. **Número de guías (guía única o guías múltiples).**

Arisan y colaboradores recomendaron el uso de una sola guía sobre el protocolo de guías múltiples para garantizar una osteotomía segura y un posicionamiento preciso de los implantes, lo que reduce el riesgo de desplazamiento de la guía quirúrgica. (32) Hay cierto consenso en la comunidad científica de que cuando se trabaja con una guía única se obtiene una mayor precisión.

3. **Uso de pines de fijación o guía removible.**

El uso de tornillos de fijción durante el procedimiento quirúrgico reduce los errores de precisión. (31) Van Assche y Quirynen en un estudio retrospectivo afirmaron que existe evidencia de que el error del posicionamiento de los implantes usando una sola guía quirúrgica estereolitográfica con soporte de mucosa en paciente edéntulos puede reducirse colocando con precisión la guía quirúrgica y fijandola con al menos tres tornillos de osteosíntesis. (32)

4. **Arco de soporte; mandíbula o maxilar.**

Según un artículo realizado por Cassetta y colaboradores, un área reducida de soporte en la mandíbula comparada con el maxilar no aumenta las posibilidades de error de posicionamiento de la guía, por lo tanto, tampoco del implante colocado finalmente. La tabla 5 muestra la influencia del arco de soporte en la desviación angular y la desviación de la corona en los implantes colocados, el t-test plantea que no hay diferencia significativa respecto a ello. (32)

Ilustración 4 Extraído de - M. Cassetta, A. Di Mambro, M. Giansanti, L. V. Stefanelli, E. Barbato; How does an error in positioning the template affect the accuracy of implants inserted using a single fixed mucosa-supported stereolithographic surgical guide?

5. **Grosor de tejido blando.**

Accuracy and Complications of Computer-Designed Selective Laser Sintering Surgical Guides for Flapless Dental Implant Placement. 2011;83(4).

24. Rungcharassaeng K, Caruso JM, Kan JYK, Schutyser F, Boumans T. Accuracy of computer-guided surgery: A comparison of operator experience. J Prosthet Dent [Internet]. 2015;114(3):407–13. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.04.004

25. Lee D, Choi B, Jeong S. Effects of soft tissue punch size on the healing of peri-implant tissue in flapless implant surgery. YMOE [Internet]. 2010;109(4):525–30. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.10.002

26. Sun Y, Luebbers H. Accuracy of Dental Implant Placement Using Stereolithographic Template. 2013;1–9.

27. Greenberg AM. Digital Technologies for Dental Implant Treatment Planning and Guided Surgery. Oral Maxillofac Surg Clin NA [Internet]. 27(2):319–40. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.coms.2015.01.010

28. Tahmaseb, Ali, Wu Viviane, Wismeijer Daniel, Coucke Wim EC. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis.pdf.

29. Velde T Van De, Komiyama A, Hultin M, Bruyn H De. Accuracy and Complications Using Computer-Designed Stereolithographic Surgical Guides for Oral Rehabilitation by Means of Dental Implants : A Review of the Literature. :1–15.

30. El Kholy Karim, Lazarin Rafael, Janner Simone, Faerber Karin, Buser Ramona BD. Influence of surgical-guide support and implant site location on accuracy of static Compute Assisted Implant Surgery. :0–2.

31. Mora MA, Chenin DL, Arce RM. Software tools and Surgical Guides in Dental-Implant-Guided Surgery. 2014;58:597–626.

32. Cassetta M, Di Mambro a., Giansanti M, Stefanelli L V., Barbato E. How does an error in positioning the template affect the accuracy of implants inserted using a single fixed mucosa-supported stereolithographic surgical guide? Int J Oral Maxillofac Surg [Internet]. 2014;43(1):85–92. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2013.06.012

33. Horwitz J, Machtei EE. Accuracy of a computerized implant placement system: an in vitro study. 2009;1156–62.

34. Vasak C. Computed tomography-based evaluation of template (NobelGuide tM)-guided implant positions: a prospective radiological study. 2011;1157–63.

35. Cassetta M, Mambro A Di, Giansanti M, Stefanelli L V, Is EB. Is it possible to improve the accuracy of implants inserted with a stereolithographic surgical guide by reducing the tolerance between mechanical components ? Int J Oral Maxillofac Surg

[Internet]. 2013;42(7):887–90. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2013.01.011

36. Sigcho Diego Antonio, García Ivan, Da Silva Gustavo CD. Potential Deviation Factors Affecting Stereolithographic Surgical Guides: A Systematic Review. 2019;68–73.

37. El K, Med K, Frcd C, Pd JW, Dent M, Bds SE, et al. Influence of implant macrodesign and insertion connection technology on the accuracy of static computer-assisted implant surgery. 2019;(February):1–7.

38. El K, Dds K, Janner SFM, Schimmel M, Daniel MAS. The influence of guided sleeve height , drilling distance , and drilling key length on the accuracy of static Computer- Assisted Implant Surgery. 2018;(October):1–7.

39. Strauss M, Steiner A. Evaluation of the accuracy of three different computer-aided surgery systems in dental implantology : optical tracking vs . stereolithographic splint systems. 2008;709–17.

40. Ozan O, Turkyilmaz I, Ersoy AE, Mcglumphy EA, Rosenstiel SF. Clinical Accuracy of 3 Different Types of Computed Tomography-Derived Stereolithographic Surgical Guides in. YJOMS [Internet]. 2009;67(2):394–401. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2008.09.033

41. Dds MT, Dds YK, Fabio M, Me C, Dds MM, Mario S, et al. Accuracy of newly developed sleeve-designed templates for insertion of dental implants : A prospective multicenters clinical trial. 2018;(October):1–6.

42. Shen P, Zhao J, Fan L, Qiu H, Xu W, Wang Y, et al. Accuracy evaluation of computer-designed surgical guide template in oral implantology. J Cranio-Maxillofacial Surg [Internet]. 2015;43(10):2189–94. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jcms.2015.10.022