



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**Facultad de Estomatología
Secretaría de investigación y estudios de posgrado**

MAESTRÍA EN ESTOMATOLOGÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN REHABILITACIÓN ORAL

**“EXACTITUD DE GUÍAS IMPRESAS ESTÁTICAS Y CIRUGÍA GUIADA POR
NAVEGACIÓN DINÁMICA”.**

TESINA

**“QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO. EN ESTOMATOLOGÍA CON
OPCIÓN TERMINAL EN REHABILITACIÓN ORAL”**

PRESENTA:

**C.D. Selene Isamar Valdez Arrearan
Matrícula: 220450015**

DIRECTOR DE TESINA:

**C.D.E.P.B. Enrique Pérez Martínez
ID: 100188222**

DIRECTOR DISCIPLINARIO:

**M.E. I Guillermo Franco Romero
ID: 100294988**

ASESOR METODOLÓGICO:

**D.C. Rosendo Carrasco Gutiérrez
ID: 100008655**

:

JUNIO 2022



BUAP

Oficio No. FESIEP/104/2022

**C. SELENE ISAMAR
VALDEZ ARREARAN
MATRÍCULA:
220450015**

**Alumno de la Maestría en Estomatología
Con opción Terminal en Rehabilitación
Oral de la Facultad de Estomatología**

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA R E S E N T
E.**

*El que suscribe, **MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez**, Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por este medio me permito informar a usted que esta Secretaría aprueba la impresión de la Tesina titulada “Exactitud de guías impresestáticas y cirugía guiada por navegación dinámica”, misma que presentará para realizar su examen profesional y obtener el grado de **Maestra en Estomatología con Opción Terminal en Rehabilitación Oral**.*

Sin más por el momento, deseándole lo mejor, le reitero mi distinguida consideración.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., a 27 de junio de 2022.



MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez
Secretario de Investigación y Estudios de
Posgrado Facultad de Estomatología

Facultad
de Estomatología

31 Poniente 1304, Col. Volcanes,
Puebla, Pue. C. P. 72410
01 (222) 229 55 00 Ext. 6400

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESINA RECEPCIONAL

Para obtener el Grado de: **Maestra en Estomatología con opción terminal en Rehabilitación Oral**
Registro CIFE: 2022053 Fecha: 27 de junio de 2022

Título de la Tesina: "Exactitud de guías impresas estáticas y cirugía guiada por navegación dinámica".

Nombre del alumno: Selene Isamar Valdez Arrearan **Matrícula:** 220450015

Domicilio: La encantada #17634, Lomas de la Presa 22125, Tijuana, Baja California, México.

Tel: 664 327 64 68

Fecha de ingreso a la Facultad: enero 2020

Firma: 

Director de tesis: C.D.E.P.B. Enrique Pérez Martínez **Grado académico:** Especialidad en Prótesis Bucal e Implantología

Adscripción: Facultad de Estomatología **ID:** 100188222 **TEL:** 222 426 7628

Firma: 

Director disciplinario: M.E.I. Guillermo Franco Romero **Grado académico:** Maestría en Ciencias Estomatológicas Integral

Adscripción: Facultad de Estomatología **ID:** 100294988

Tel: 222 212 0657

Firma: 

Director metodológico: D.C. Rosendo Carrasco Gutiérrez **Grado académico:** Maestría en Salud Pública

Adscripción: Facultad de Estomatología **ID:** 10008655 **Tel:** 222 505 3084

Firma: 

Lector: MTRA. Karla Rodríguez Hernández **Grado académico:** Maestría en Ciencias Estomatológicas Integral

Adscripción: Facultad de Estomatología **ID:** 100524781 **Tel:** 222 426 8122

Firma: 

Nombre y firma de aprobación del responsable de la Maestría en Estomatología con Opción terminal en Rehabilitación Oral.

MEI. Guillermo Franco Romero

Firma: 

La Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología, autoriza la impresión de la Tesis.

MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez



Fecha: 27 de junio de 2022

Sello _____



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**Facultad de Estomatología
Secretaría de investigación y estudios de posgrado**

MAESTRÍA EN ESTOMATOLOGÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN REHABILITACIÓN ORAL

**“EXACTITUD DE GUÍAS IMPRESAS ESTÁTICAS Y CIRUGÍA GUIADA POR
NAVEGACIÓN DINÁMICA”.**

TESINA

**“QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO. EN ESTOMATOLOGÍA CON
OPCIÓN TERMINAL EN REHABILITACIÓN ORAL”**

PRESENTA:

C.D. Selene Isamar Valdez Arrearan
Matrícula: 220450015

DIRECTOR DE TESINA:

C.D.E.P.B. Enrique Pérez Martínez
ID: 100188222

DIRECTOR DISCIPLINARIO:

M.E. I Guillermo Franco Romero
ID: 100294988

ASESOR METODOLÓGICO:

D.C. Rosendo Carrasco Gutiérrez
ID: 100008655

:

JUNIO 2022

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su constante motivación, esfuerzo y sacrificio para brindarme la oportunidad de estudiar una maestría. Les doy gracias por su apoyo incondicional, este logro no es sólo mío, también es de ustedes.

A mis docentes, por su ayuda, paciencia y dedicación en este proceso, por su compromiso para compartir sus conocimientos y guiarme tanto a mi, como a mis compañeros.

Agradezco a mis asesores, Dr. Enrique Pérez y Dr. Rosendo Carrasco por su tiempo, paciencia y colaboración durante este proyecto.

A mi coordinador Guillermo Franco, por el aprendizaje brindado, por siempre cuidarme a mi y a mis compañeros, por impulsarnos para ser mejores personas y profesionistas.

Gracias por creer en nosotros y por dejar huella en cada uno de sus alumnos.

A mi familia, amigos y pareja, que a pesar de la distancia, no dejaron de brindarme palabras de aliento y buenos deseos en este largo proceso.

Finalmente quisiera agradecer a mis compañeros, en especial a mis hermanos de generación. Estaré siempre agradecida por su apoyo, cariño, regaños y conocimiento compartido, por ser mi apoyo y mi familia cuando la mía se encontraba lejos.

Me han ayudado a ser mejor profesionista, amiga y persona. Estos años fueron cortos, pero inolvidables, muchas gracias, Diana, Paco, Ricardo, Toño y Luis.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS	6
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	14
CAPÍTULO III. MARCO REFERENCIAL	39
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS	42
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	46
CONCLUSIÓN:	53
BIBLIOGRAFÍA	54

RESUMEN

Los procedimientos asistidos por computadora se están integrando cada vez más en diferentes campos de la odontología. Actualmente, el uso de la cirugía guiada estática como un medio para crear guías quirúrgicas y así colocar implantes dentales con precisión es amplio.

Sin embargo, el tiempo de trabajo para la planificación y producción de la guía quirúrgica puede retrasar nuestro tratamiento; A su vez, este procedimiento maneja múltiples pasos, desde la planeación, diseño y obtención de la guía, si fallamos en alguno de estos, la exactitud de la guía se ve comprometida.

Otro método de cirugía asistida por computadora en implantología dental es la cirugía guiada por imágenes mediante navegación dinámica. Estas técnicas quirúrgicas ya se utilizan en gran medida en el área de neurocirugía, cirugía maxilofacial, y se están popularizando rápidamente en la implantología.

El objetivo de este análisis de la literatura fue describir la evidencia existente sobre la exactitud de la colocación de implantes con el uso de sistemas de navegación dinámica y compararlos con los sistemas convencionales de cirugía guiada por medio de guías estáticas planificadas en computadora.

Para este fin se realizó una búsqueda desde 2017 hasta marzo de 2022 en las bases de datos electrónicas: PubMed, Springer Link, Wiley y Google Académico.

Tomando en consideración los criterios de inclusión: Artículos que incluyan análisis de la exactitud del uso de sistemas de navegación dinámica para la colocación de implantes dentales. Artículos que incluyan análisis de la exactitud del uso de guías quirúrgicas estáticas para la colocación de implantes dentales completamente guiada. Artículos que analicen y comparen ambos sistemas. Año de publicación 2017-2022. Criterios de exclusión: Artículos que no incluyan análisis de la exactitud o relevancia clínica de los sistemas de navegación dinámica. Artículos sin relevancia para este análisis de la literatura.

El resultado de este trabajo indicó que ambos sistemas son herramientas confiables para la colocación de implantes dentales, y actualmente son sistemas de primera categoría.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la odontología se ve enfocada en restablecer la función, anatomía, estética, salud y confort de la cavidad oral.

Cuatro avances clave han impulsado la evolución de la implantología dental como se le conoce hoy en día.

- 1.- El descubrimiento de la osteointegración por el Dr. Branemark.
- 2.- La aplicación de la tecnología de imágenes de tomografía computarizada (TC) para la colocación óptima de implantes dirigidos protésicamente.
- 3.- Guías quirúrgicas estereolitográficas generadas por computadora
- 4.- TC de haz cónico (CBCT), que redujo la exposición a la radiación y mejoró el acceso para el sector de la práctica privada (1).

La cirugía guiada por computadora conlleva la implementación de un sistema de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y una exploración intraoral para permitir una planificación quirúrgica digital personalizada. Esta planificación se transfiere al paciente en forma de guías quirúrgicas para ayudar en la colocación precisa del implante; sin embargo, estas guías son estáticas y tienen algunos inconvenientes.

Su estabilidad no es garantizada, ya que de eso depende si están soportadas por dientes, mucosa o hueso. La apertura limitada de la boca se convierte en un inconveniente cuando se utilizan guías quirúrgicas en la colocación de implantes para la dentición posterior. En caso de que se presente algún error en la planificación digital, la segmentación de la anatomía o la transferencia de datos a la fabricación de la guía, al momento de utilizarla en el paciente puede generar una mal posición del implante ya que no es fiel a la planeación inicial.

A lo largo de varias décadas, la implantología ha evolucionado para incluir cirugía planificada y guiada tridimensionalmente (3D). Una de las últimas innovaciones es la navegación dinámica, que permite que los cirujanos coloquen implantes con una

precisión similar a las guías estereolitográficas basadas en planos protésicos en 3D. Los beneficios de la cirugía guiada dinámicamente incluyen retroalimentación en tiempo real, un flujo de trabajo digital optimizado, visualización quirúrgica mejorada y adaptabilidad a los hallazgos intraoperatorios.

PALABRAS CLAVE

Cirugía asistida por computadora, implantes dentales, navegación dinámica, cirugía guiada.

CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL

La colocación de implantes dentales ha surgido como una opción de tratamiento predecible para restaurar pacientes desdentados. Sin embargo, a esta técnica se le atribuyen múltiples complicaciones, incluidas las perforaciones corticales o dentales y el daño a estructuras anatómicas particulares, como el nervio alveolar inferior o el seno maxilar, debido al mal posicionamiento del implante. (2)

Junto con el aumento de la utilización de los implantes, se ha puesto en evidencia toda una serie de complicaciones de carácter biomecánico y biológico.(1)

Las consecuencias de una mala posición del cuerpo del implante pueden hacerse evidentes a corto y largo plazo, afectando tanto a los tejidos duros y blandos adyacentes, comprometiendo la estabilidad de los implantes, así como la estética y el resultado protésico. (3)

Durante años, las guías estáticas estereolitográficas se han utilizado con éxito para implantar osteotomías, utilizando información detallada implementada a través de imágenes virtuales tridimensionales. Sin embargo, presentan varias desventajas como por ejemplo la pérdida de sensación táctil durante la osteotomía y el hecho de estar limitado a la trayectoria de perforación prediseñada.(3)

La navegación dinámica es una tecnología reciente, que proporciona una guía a través de una navegación en tiempo real para la osteotomía del implante, ofrece no solo precisión, sino también ventajas valiosas adicionales durante una operación. Con esta tecnología, la ubicación y el diámetro de los implantes pueden modificarse y el colgajo puede incidirse intraoperatoriamente cuando sea necesario.(4)

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo es comparar y analizar la exactitud de reproducción de las posiciones del implante, por medio de guías estáticas planificadas en computadora e impresas en 3D y el sistema Navident: cirugía guiada por navegación dinámica.

Esta comparación de la literatura permitirá apreciar las ventajas y desventajas del uso de estos sistemas y de que manera influyen en la exactitud de la colocación de implantes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar y describir las ventajas y desventajas de la colocación de implantes en el procedimiento de cirugía guiada por navegación dinámica.
- Analizar y describir las ventajas y desventajas de la colocación de implantes por medio de guías quirúrgicas impresas estáticas.
- Analizar y comparar los resultados quirúrgicos descritos en la literatura de ambos procedimientos.

CAPÍTULO II. MARCO CONCEPTUAL

Desde la introducción de la osteointegración por el doctor *Branermark* y la colocación de implantes dentales, los estudios han encontrado una estabilidad exitosa a largo plazo en los tratamientos para el edentulismo total y parcial.(4)

Los métodos convencionales para la colocación de implantes, como la colocación a mano alzada o el uso de una guía quirúrgica protésica hecha sobre el modelo de estudio, no brindan una reproducción confiable de la posición óptima planificada del implante en el sitio quirúrgico. (3)

Las técnicas de imágenes panorámicas y periapicales combinadas con la inspección visual y palpación clínica pueden ser insuficientes para obtener una planificación pre quirúrgica óptima. (tabla 1).

Tabla 1. Comparación de varias modalidades de imágenes dentales.

	Periapical	Lateral de cráneo	Panorámica	Tomografía de movimiento complejo	Tomografía computarizada
Medidas de distancia					
Precisión mesio-distal	< 1.0 mm	ND	Poco fiable	Poco fiable	< 0.5 mm
Precisión de altura ósea	< 1.0 mm	Solo línea media	Poco fiable	< 1.0 mm	< 1.0 mm
Precisión del ancho óseo	ND	Solo línea media	ND	< 1.0 mm	< 0.5 mm
Evaluación de la calidad ósea					
Espesor de la placa cortical	ND	ND	ND	< 1.0 mm	< 0.5 mm
Densidad de la placa cortical	Cualitativa	Poco fiable	Poco fiable	Cualitativa	< 0.5 %
Densidad trabecular	Cualitativa	Poco fiable	Poco fiable	Cualitativa	< 0.5 %
Visión general					
Anatomía y patología	Solo local	Bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno
Identificación de posibles sitios de implante	Solo local	Poco fiable	Bueno	Bueno	Muy bueno

Los beneficios del flujo de trabajo digital en la odontología actual están asociados con alta precisión, simplificación de los procedimientos de fabricación y rentabilidad.(5)

Las técnicas de imágenes 3D pueden agregar una dimensión adicional para proporcionar información más detallada con respecto al volumen óseo, calidad del hueso o restricciones anatómicas. (6) (7)

La tecnología de tomografía computarizada (TC) fue introducida en el campo de la odontología por Columbia Scientific, en 1987, y luego la compañía desarrolló el software *SimPlant* para la implantación virtual de imágenes 3D de TC en 1993.

La tomografía computarizada proporciona las imágenes más detalladas disponibles. Combina una alta precisión de medición con un alto contraste para visualizar tanto tejidos blandos como estructuras óseas.

La TC produce imágenes transversales en las que los valores de los píxeles de la escala de grises se calculan directamente a partir de un conjunto de datos sin procesar recopilados por el aparato de rayos X. A diferencia de la tomografía convencional, los valores de píxel calculados son una representación directa de la atenuación de rayos X en cada punto del cuerpo, y no hay desenfoque por estructuras fuera de foco.

Actualmente hay cuatro tipos de escáneres disponibles para tomografías computarizadas

- 1.- TC secuencial de corte único
- 2.- TC espiral o helicoidal
- 3.- TC multi-corte
- 4.- TC de haz cónico

La tomografía computarizada de haz cónico es la más utilizado. (CBCT)

Se utiliza un detector bidimensional (2D), que permite capturar un volumen completo en una sola rotación.

Estas máquinas utilizan un haz de rayos X que emana en forma de cono desde la fuente de rayos X para capturar los dientes y los huesos faciales con una sola rotación mientras el paciente adopta una posición sentada natural. (fig. 1)

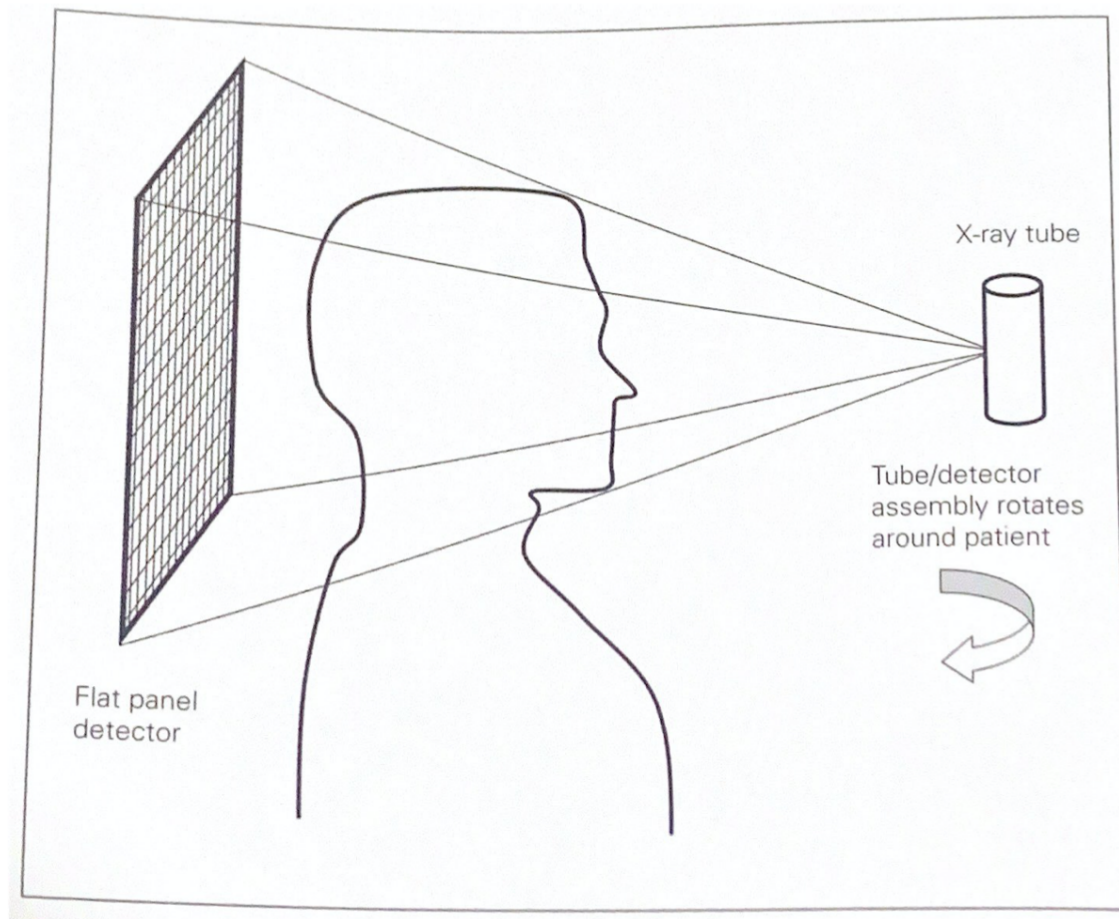


Figura 1. Tomografía de haz cónico. El paciente suele estar de pie, o en una silla para la toma. Un detector de área grande captura la mayor parte o la totalidad de la cabeza en una sola rotación. Se emplean algoritmos de reconstrucción especiales para crear cortes axiales paralelos a partir del conjunto de datos del haz cónico.

Originalmente desarrollado para exámenes cardíacos. Los escáneres CBCT también se han utilizado para planificar la radioterapia y, más recientemente, para aplicaciones dentales.

Los escáneres de tomografía computarizada construyen representaciones 3D del cuerpo a partir de una serie de cortes transversales delgados. Debido a que estas

imágenes se toman con mayor frecuencia de forma transversal al eje longitudinal del paciente, se denominan transaxiales o axiales.

Al finalizar un examen de TC, el operador tendrá una pila de cortes axiales almacenados en formato digital.

Estos cortes se pueden representar mediante un conjunto de valores de escala de grises llamados píxeles (2D) y vóxeles (3D). Cada vóxel se caracteriza por una serie de atributos, incluida su posición dentro de la matriz 3D, el tamaño de la región que representa y la atenuación de rayos X medida por la TC en la región correspondiente dentro del cuerpo del paciente.

Asociado con cada vóxel hay un número que representa la atenuación promedio de rayos X dentro de la región correspondiente del cuerpo del paciente. La atenuación de rayos X de TC se expresa en unidades *Hounsfield* (HU) en una escala lineal que va desde -1000 (aire) a 0 (agua) y se extiende hasta +3000.

Aunque no existe un límite superior para la escala de *Hounsfield*, muchos fabricantes de TC establecen límites de -1.024 y +3.071. En la escala de *Hounsfield*, la grasa es aproximadamente -100, el músculo es alrededor de 50, el hueso trabecular cae en el rango de 150 a 850 y el hueso cortical se extiende por encima del hueso trabecular y continúa hasta alrededor de 2000.

La resolución de contraste es la capacidad de distinguir entre objetos que tienen una densidad radiográfica similar. Los objetos que difieren en 5 HU o más se distinguen fácilmente, por lo que una estimación aproximada de la resolución de contraste para la TC es de aproximadamente 0,5 %, o 10 veces la sensibilidad de una película radiográfica. (8)

Se puede hacer un mapeo entre las unidades *Hounsfield* y la densidad ósea en la escala de *Misch* (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de densidad ósea de *Misch*. (9)

Clasificación	Propiedades	Unidades Hounsfield (HU)
D1	Hueso cortical denso	>1,250
D2	Hueso cortical grueso, denso a poroso en la cresta y hueso trabecular grueso por dentro.	850-1,250
D3	Hueso cortical delgado y poroso en la cresta y hueso trabecular fino por dentro.	350-850
D4	Hueso trabecular fino	150-350
D5	Hueso inmaduro, no mineralizado.	<150

De acuerdo con este mapeo, el hueso de tipo D4 se encuentra entre 150 y 350 HU, D3 se encuentra entre 350 y 850 HU, D2 se encuentra entre 850 y 1250 HU y D1 se encuentra por encima de 1250 HU. Como regla general, el hueso de calidad 500 HU o más suele ser adecuado para la colocación de implantes.

Esto permite examinar las estructuras anatómicas del maxilar y la mandíbula en forma de imágenes contiguas, y precisas.

Esta tecnología tenía limitaciones significativas: no existía un mecanismo para interactuar con los datos de TC, transferir información de resultados protésicos a un conjunto de datos de TC o transferir con precisión el plan de TC al entorno quirúrgico.

Poco después, se introdujo el concepto de "posición final óptima del diente". Este concepto se basó en parte en la capacidad de transferir información protésica específica del paciente al estudio de TC a través de un dispositivo de exploración.

En 1994, se introdujo el software interactivo basado en computadora *Simplant* (Columbia Scientific). A pesar de ofrecer muchos avances, el software *SimPlant* no permitía la planificación del tratamiento en 3D ni la construcción de modelos médicos prototipo rápidos y precisos y guías quirúrgicas específicas para el paciente que pudieran ayudar a garantizar el resultado protésico planificado antes de la operación. Estas características se incorporaron más tarde al software de imágenes interactivas 2D-3D en tiempo real desarrollado en 1999 por *Materialise*, que al mismo tiempo introdujo el modelado médico de prototipos rápidos para facilitar el tratamiento quirúrgico guiado por prótesis.

Posteriormente, se propusieron dos conceptos principales para trasladar el plano de la imagen a la colocación quirúrgica y así lograr una mayor precisión: navegación estática y dinámica. (8)

La implantología asistida por computadora (CAI) ha sido utilizada a nivel mundial por ofrecer un conjunto de ventajas sobre la cirugía manual o a mano alzada. La CAI permite una cirugía más precisa, mínimamente invasiva, reduce el riesgo de daño a estructuras anatómicas cercanas y proporciona mejorar el pronóstico del tratamiento y la restauración final.

Actualmente se utilizan dos métodos CAI:

CAI estático (SCAI), el cual requiere el diseño, fabricación y uso de una guía física con tubos para permitir el fresado.

CAI dinámico (DCAI), donde se utiliza un sistema similar a un sistema de posicionamiento global (GPS o *Global Positioning system*) para brindar información visual al cirujano del implante (16,20).

La navegación dinámica a través de un software 3D permite monitorear la perforación del hueso y la colocación del implante en tiempo real durante todo el procedimiento.

Mientras que la navegación estática se refiere al uso de guías quirúrgicas estáticas para la secuencia de perforación del implante óseo y la colocación del implante. (10)

Se han descrito diferentes enfoques de navegación que involucran una amplia variedad de herramientas, dispositivos y avances tecnológicos, mientras que la colocación de implantes a mano alzada o *free hand* (FH) no requiere guías quirúrgicas. Sin embargo, la técnica FH y el método de navegación estática, que incluyen las aproximaciones con sistemas completamente guiados o *full guided* (FG) y guía semirestrictiva o *half guided* (HG), siguen siendo los métodos más utilizados hasta la fecha. (10)

La navegación estática se puede dividir además en cirugía de implantes totalmente guiada (FG) y semiguía (HG). La navegación estática también se puede clasificar según el tipo de guía quirúrgica: guía abierta y cerrada; o guiado sostenido por mucosa, hueso y diente (10) (11) (fig. 2).

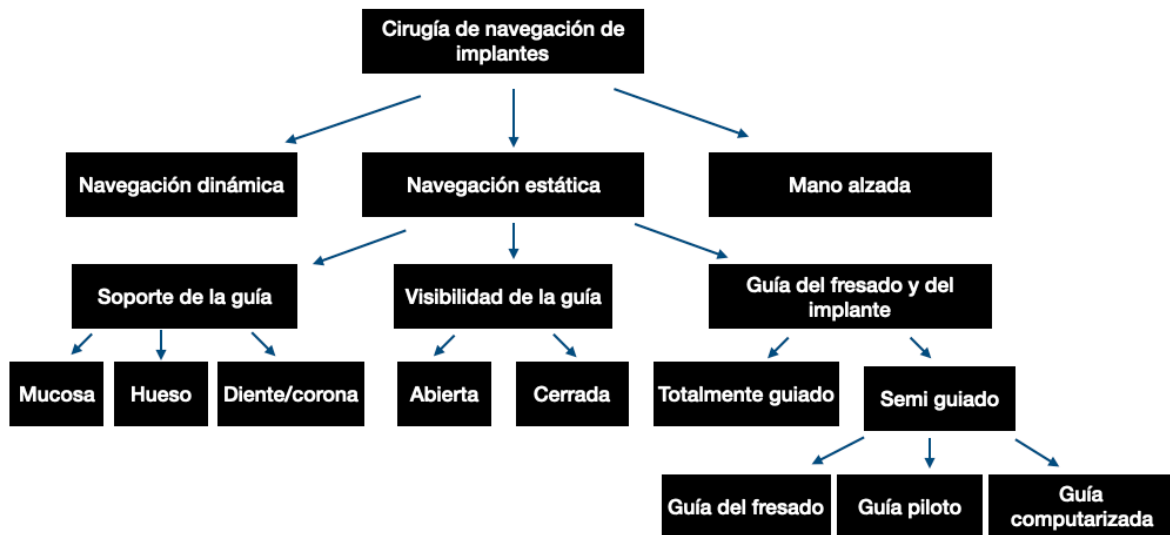


Fig. 2 Clasificación de cirugía de navegación en implantes. (10)

Todos estos diferentes enfoques de cirugía de navegación de implantes se basan en cómo se comunica la información de la planificación pre quirúrgica al paciente durante la colocación del implante y contienen diferentes características que ofrecen ventajas o inconvenientes durante la colocación del implante. (10) (11)

PLANIFICACIÓN Y COLOCACIÓN DE IMPLANTES EN SCAI

La planificación y colocación de implantes asistida por computadora se basa en la obtención de datos de la tomografía computarizada de haz cónico, que se utiliza en el software de planificación de implantes para determinar la posición ideal del implante.

Esta posición del implante se transfiere a la guía quirúrgica. Dependiendo del sistema utilizado, esta transferencia se puede realizar manualmente a una guía radiográfica existente, utilizando máquinas de coordenadas, o se produce una nueva guía quirúrgica mediante diseño asistido por computadora/fabricación asistida por computadora (CAD/CAM).

La guía quirúrgica suele llevar tubos guía para la entrada de las fresas de perforación durante la osteotomía y la colocación del implante.

Por medio de las imágenes en 3D, las herramientas de planificación virtual, y los instrumentos de reducción para la colocación de implantes, se permite una planificación pre-operatoria mejorada, y un procedimiento más preciso y predecible. También permite acelerar el procedimiento quirúrgico y garantizar un periodo post operatorio menos traumático.

Sin embargo, presentan algunas deficiencias, como el aumento de los costos debido a la inversión inicial en el software de planificación, los kits quirúrgicos específicos y los gastos derivados de las guías quirúrgicas. Además, se ha señalado que la cirugía guiada puede implicar complicaciones quirúrgicas y protésicas inherentes que podrían hacer que estos procedimientos sean más exigentes que los enfoques convencionales. (11)

La planificación de implantes digitales requiere datos de radiografías tridimensionales (DICOM: *Digital Imaging and Communications in Medicine* o Comunicación de Imágenes Digitales en Medicina), así como datos STL (STL: *Standard triangle Language* o Lenguaje de Mosaico Estándar) de un escaneo intraoral o el escaneo de un modelo yeso.

Todo lo que se requiere para este propósito son los datos DICOM y los datos tridimensionales de las superficies intraorales. Esto también significa que el procedimiento puede modificarse en cualquier momento para acomodar un sistema de implante específico o el software correspondiente.

Este flujo de trabajo mejora la comunicación dentro del equipo formado por el paciente, el odontólogo y el técnico dental. Una presentación visual de la situación anatómica y el resultado restaurativo planificado permite al paciente fundamentar sus expectativas, mientras que las opciones y limitaciones pueden comunicarse más claramente dentro del equipo restaurador y al paciente.

El flujo de trabajo digital cubre la adquisición de datos básicos, el procesamiento de datos y, en última instancia, la producción de la pieza de trabajo. Esto también se aplica a la planificación digital de implantes y la cirugía guiada de implantes (tabla3).

Tabla 3. Flujo de trabajo para la planificación digital de implantes y la colocación guiada de implantes. (10) (12)

Recopilación de datos	Procesamiento de datos	Producción de guía quirúrgica	Cirugía del implante
Datos radiológicos (archivo DICOM)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Fusión de datos</i> • <i>(DICOM + STL)</i> <i>Planificación pre-protésica</i>	<i>Fabricación aditiva o fabricación sustractiva</i>	Cirugía implantológica guiada
Escaneo intraoral (archivo STL) o escaneo del modelo de yeso	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Planeación del implante</i> • <i>Diseño de la guía (archivo STL)</i> 		

ADQUISICIÓN DE DATOS:

La superposición de datos de superficie en formato STL con datos DICOM tridimensionales de imágenes radiológicas (fig. 3) es un requisito previo básico para la planificación digital de implantes. Además de los datos DICOM obtenidos por TC o CBCT, se requieren datos STL de la situación clínica intraoral en forma de escaneo intraoral o modelo. El tamaño y la posición del campo de visión (FOV) del CBCT deben elegirse adecuadamente para obtener datos procesables (fig. 3b y 3c). La segmentación de imágenes CBCT, en otras palabras, la separación digital de estructuras significativas (huesos de tejidos blandos) se puede realizar de forma automática o manual (fig. 3a) (13) (14)

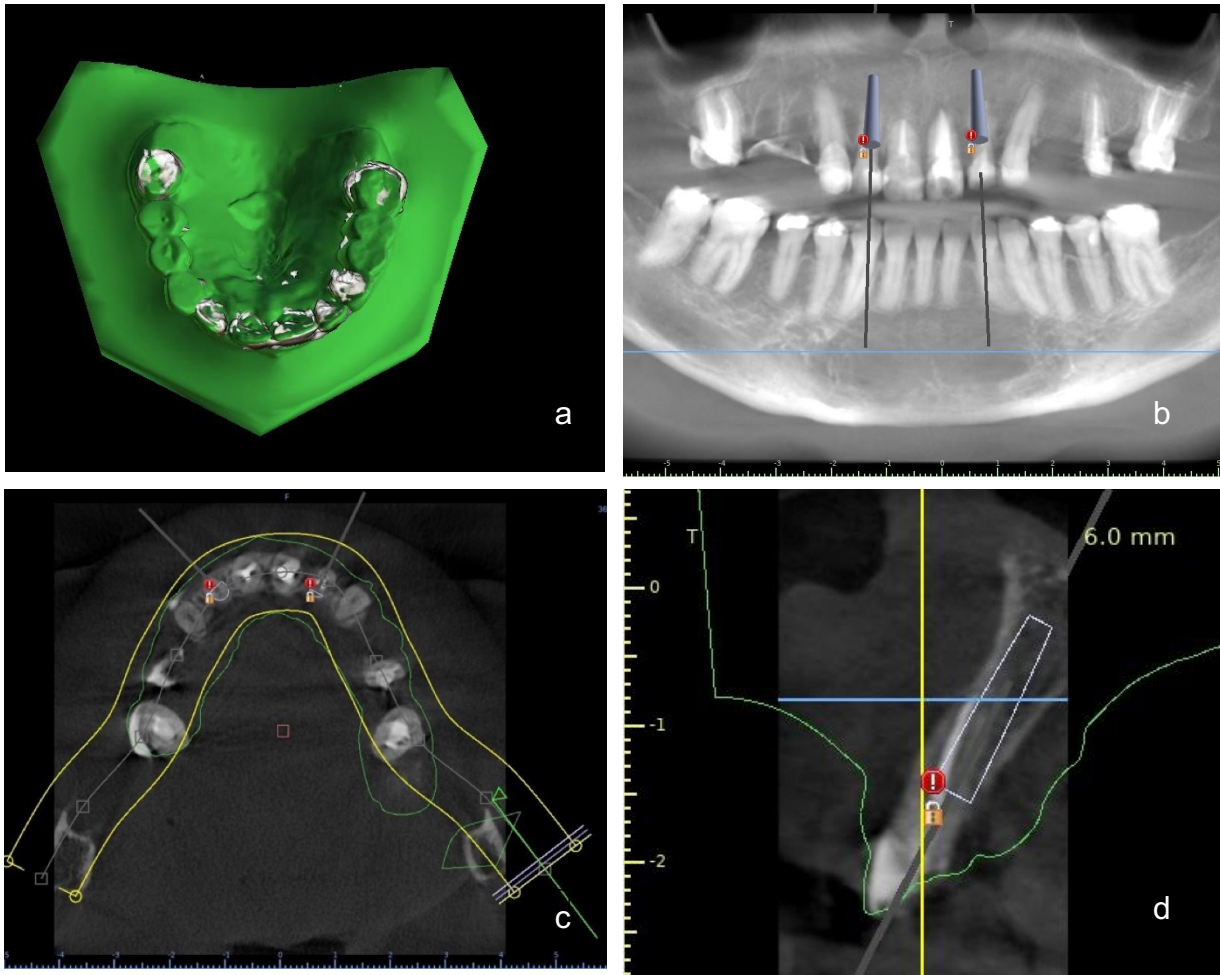


Fig. 3 a) Correlación de datos DICOM con datos STL de la situación clínica por medio de una imagen de distancia codificada por colores después del registro (iMedit, bluesky, Exoplan). b) Campo de visión panorámico de situación anatómica y proximidad de órganos dentarios en el sitio quirúrgico. c) Vista transversal del sitio quirúrgico. d) Correlación de los datos STL (línea verde) y datos DICOM con superposición optimizada (imágenes propias).

PROCESO DE DATOS:

La guía quirúrgica se genera en base a los datos STL. Para lograr esto, los dos conjuntos de datos (STL y DICOM) se importan al software de planificación de implantes y se superponen (empalme/registro).

Los sistemas de planificación requieren el marcado de puntos específicos, de preferencia en órganos dentales residuales, para realizar una alineación de los datos registrados (fig. 3d).

La imagen de distancia codificada por colores (Fig. 3d) y las secciones transversales de los conjuntos de datos superpuestos (Fig. 1c y 1d) se pueden emplear para evaluar la calidad del registro. Si existen dudas sobre la confiabilidad de la superposición, el análisis y corrección de errores es indispensable para evitar eventos adversos.

PLANIFICACIÓN PRE PROTÉSICA Y PLANIFICACIÓN DE IMPLANTES:

Un modelo escaneado se importa al software de planificación. Esta primera planificación protésica virtual cubre tanto aspectos funcionales como estéticos y ayuda a alinear de manera óptima la posición del implante con las condiciones anatómicas predominantes (fig. 3b).

El software de planificación ya incluye una base de datos de implantes comunes o permite importar dichos datos. La información inherente a la situación ósea existente puede utilizarse para seleccionar un implante adecuado, de acuerdo con la situación anatómica y la restauración protésica prevista, así como las indicaciones específicas de cada implante aprobadas por su fabricante (Fig. 4),

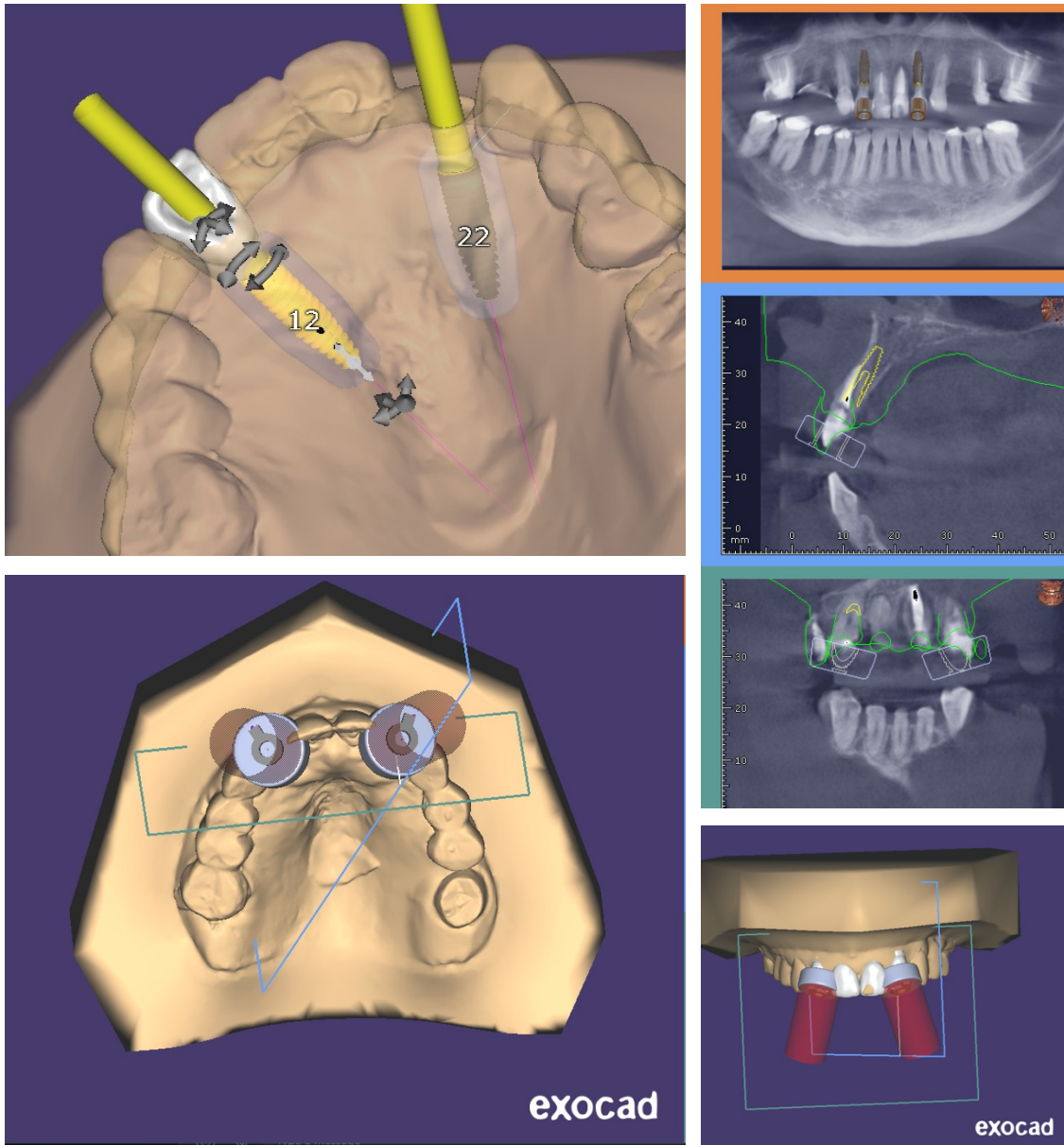
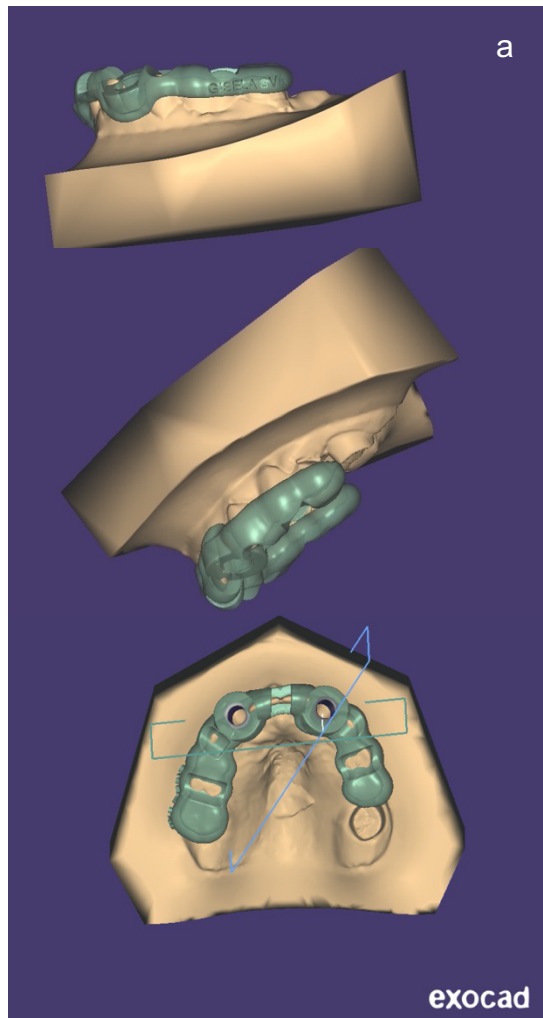


Fig. 4 Planeación de la colocación de implantes, tomando en consideración la anatomía y la planeación protésica (Exocad, Exoplan) (Imágenes propias).

DISEÑO DE LA GUÍA QUIRÚRGICA:

Una vez definidas las futuras posiciones de los implantes, se trasladan al diseño de la guía quirúrgica. Es posible realizar un abordaje parcialmente guiado, en el que solo la fresa piloto es guiada, o un procedimiento totalmente guiado, en el que se incorporan a la guía quirúrgica tubos guía especiales adaptados al sistema de implante seleccionado. (fig. 5a y 6).

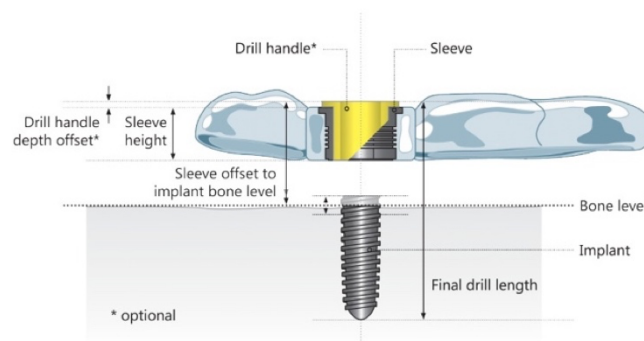
Cuando se ha aprobado la planificación del implante, el software proporciona un informe de planificación que especifica el tipo, el tamaño y la posición de los implantes planificados. El "protocolo de fresado" proporciona al cirujano la información técnica relevante sobre el uso correcto de los instrumentos quirúrgicos específicos del sistema (Fig. 5b).



Surgical Protocol	
Patient: SELENE VALDEZ Project: 2022-05-18_00001-001 (Upper Jaw)	
Implant Information	
Tooth Number:	12
Implant Model:	Straumann® - Bone Level Tapered Roxolid® SLActive® Guided
Manufacturer:	Straumann® Group
Article Number:	021.3312G
Length:	12 mm
Body Diameter:	3.3 mm
Platform Diameter:	3.3 mm
Library Integrity:	This library is signed,
Image:	
Sleeve Information	
Library Information:	Straumann® - Sleeves : Fully Guided Ø 5.0 mm T-sleeve : d5 / D6 / h5
Sleeve Model:	Ø 5 mm T-sleeve
Manufacturer:	Straumann® Group
Article Number:	034.053V4
Height:	5 mm
Inner Diameter:	5 mm
Sleeve offset to implant platform / bone level:	To platform: 11 mm / To bone level: 11mm
Library Integrity:	This library is signed,
Image:	
Surgical Kit and Drill Information	
Library Information:	Straumann® - Guided Surgery Kit : Ø 2.8 mm - BLT Drill : Long - 24 mm
Drill Model:	Ø 2.8 mm BLT Drill long, L = 24 mm
Drill Manufacturer:	Straumann® Group
Article Number:	034.262
Drill Length:	41.4 mm
Drill Diameter:	2.8 mm
Drill Color Code:	Yellow
Handle Description:	Ø 2.8 mm - h+1mm - yellow
Handle Outer Diameter:	5 mm
Handle Inner Diameter:	2.8 mm
Handle Depth Offset:	1 mm
Handle Icon:	Yellow star icon
Library Integrity:	This library is signed,

Fig. 5 a) Conjunto de datos para la impresión 3D de la guía. **b)** Protocolo de fresado. (Imágenes propias).

Una vez que se ha completado el proceso de diseño (fig. 7a), el conjunto de datos puede exportarse como un archivo STL y convertirse directamente en la guía quirúrgica física mediante procedimientos CAM aditivos o sustractivos. Los métodos que se utilizan con frecuencia para este propósito incluyen la impresión 3D o las tecnologías de creación rápida de prototipos, especialmente la estereolitografía (SLA), el procesamiento de luz digital (DLP) (fig. 7b), o la sinterización selectiva por láser (SLS). La integración de los tubos guía es un proceso manual, al igual que la eliminación de las estructuras de soporte y el acabado de la guía. (15) (16)



This schematic diagram is provided only for the purpose of illustrating the following information.

Fig. 6 Componentes de la guía quirúrgica (Exoplan).

CIRUGÍA DE IMPLANTES:

En el momento de la cirugía del implante, se verifica la posición correcta de la guía quirúrgica en boca, mediante ventanas de verificación especiales (Fig. 7c). La implementación exacta de las posiciones planificadas de los implantes solo se garantiza si la guía quirúrgica se ajusta de forma exacta y segura (fig. 7c y 7d).

El paso siguiente consiste en la preparación guiada del sitio del implante de acuerdo con un protocolo de fresado estandarizado definido por el sistema de implante utilizado (Fig. 7d). Las inspecciones se pueden realizar en cualquier momento del procedimiento, siempre que la guía quirúrgica no haya sido asegurada con pines óseos. Se debe tener cuidado durante el fresado para asegurar una irrigación suficiente, que puede verse dificultada por la presencia de la guía quirúrgica. Una vez insertado el implante, dependiendo del modo de cicatrización, se colocan suturas o un pilar de cicatrización, o se inserta una restauración inmediata.

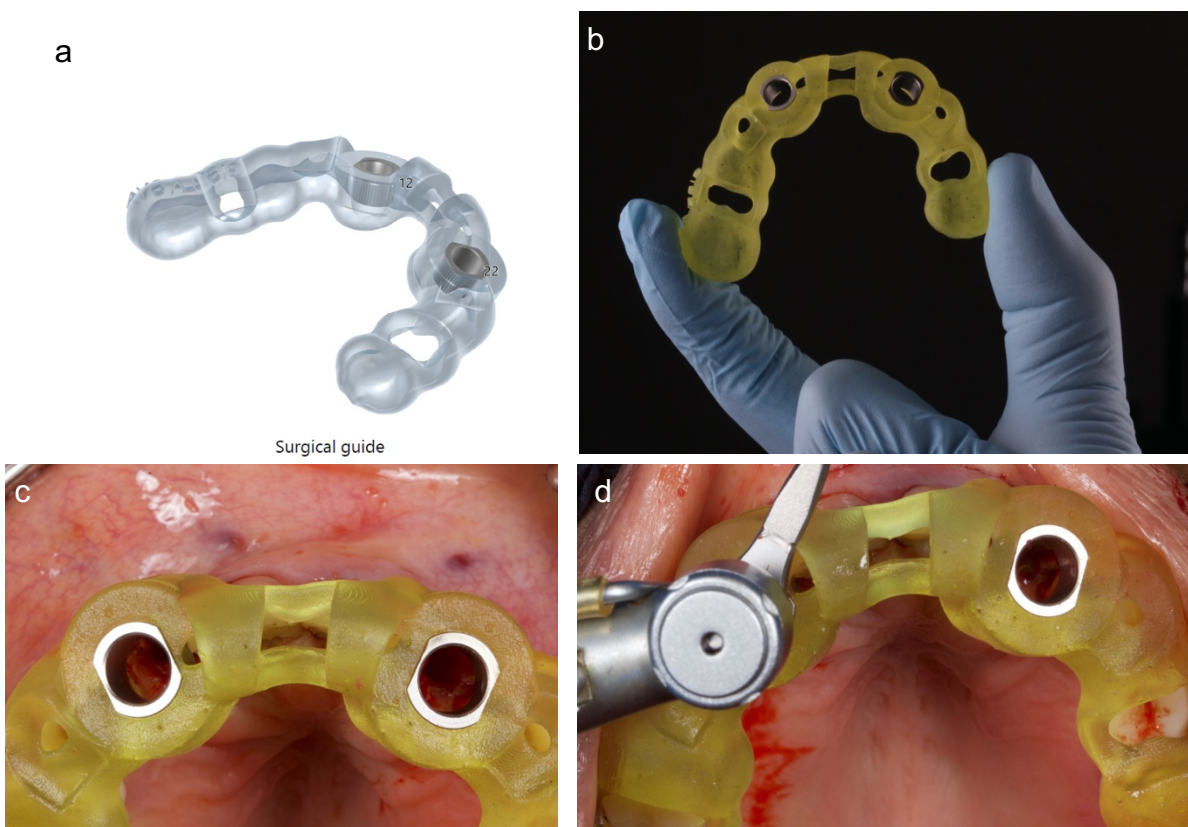


Fig. 7 a) Construcción y diseño final de la guía quirúrgica. b) Guía impresa por medio de DLP con resina biocompatible (UNIZ zSG resin). c) Asentamiento óptimo de la guía quirúrgica. d) Fresado del sitio del implante por medio de reductores específicos de la marca comercial de implantes a utilizar (Straumann BLT guided surgery) (Imágenes propias).

PLANIFICACIÓN Y COLOCACIÓN DE IMPLANTES SCAI (NAVEGACIÓN DINÁMICA).

La cirugía de navegación, también conocido como sistema de navegación quirúrgica o sistema de cirugía guiada, se introdujo originalmente en la neurocirugía para realizar una cirugía cerebral más segura y mínimamente invasiva (*Mezger et al., 2013*). (17) (18)

El significado de navegación en cirugía se define con mayor precisión por las preguntas planteadas: "¿Dónde está mi objetivo (anatómico)?", "¿Cómo llego a mi objetivo de manera segura?", "¿Dónde estoy (anatómicamente)?" y "¿cómo debo colocar mi implante?". Además de estas importantes cuestiones de orientación anatómica, la navegación quirúrgica también se utiliza como herramienta de medición para proporcionar a los cirujanos la información adecuada en el momento adecuado durante la cirugía.(17) (19)

El propósito de los sistemas dinámicos de cirugía guiada por computadora en implantología es minimizar la desviación de la posición del implante con respecto a la planificación preoperatoria mediante el seguimiento en tiempo real de la perforación y la inserción del implante. (18)

La cirugía de navegación dinámica permite al operador visualizar completamente la osteotomía, y el sitio del implante en la pantalla de la computadora mientras se prepara el sitio y se coloca el implante. (18) (20)

La desviación 3D de la fresa o del implante se puede observar en tiempo real mediante un monitor. La profundidad del fresado, el ángulo y la posición del implante se puede ajustar en cualquier momento de la cirugía.(4)(20)

La utilidad de la navegación radica en su alta precisión, que es particularmente necesario en algunas situaciones quirúrgicas específicas:

- 1.- Cuando se deben tomar en cuenta las estructuras anatómicas y el control de la profundidad es importante.
- 2.- Cuando los clínicos deseen utilizar un abordaje sin colgajo.
- 3.- Cuando la colocación requiera una gran precisión de angulación y espaciado entre los implantes y los dientes adyacentes.
- 4.- Cuando los implantes deban colocarse en un espacio interdental estrecho y los tubos guías estáticos interfieren con la posición ideal del implante debido a su tamaño.
- 5.- Cuando se espera que la visualización directa sea difícil, por ejemplo, en pacientes con apertura bucal limitada. (20)

Este sistema proporciona un flujo de trabajo más simple, rápido y flexible con una verificación precisa fácil y confiable para reducir grandes errores en la colocación.

Los sistemas de navegación dinámica disponibles en Estados Unidos y México utilizan un seguimiento óptico.

Existen dos sistemas de seguimiento óptico: activo y pasivo.

Las matrices del sistema de seguimiento activo emiten una luz infrarroja que se rastrea a una estereo cámara, y las matrices del sistema de seguimiento pasivo utilizan esferas para reflejar la luz infrarroja emitida desde una fuente de luz hacia otra cámara.

El paciente y la fresa que se utiliza para la osteotomía deben de estar sobre la línea de visión de la cámara de seguimiento.

La tecnología de navegación dinámica más utilizada es la pasiva, la luz se proyecta desde una fuente de luz de diodo que refleja sobre el paciente y el sitio quirúrgico, el sistema después calcula la posición del paciente y los instrumentos a utilizar en relación con el plan prequirúrgico.

Esto es en tiempo real, o dinámicamente, ya que una imagen virtual es proyectada a un monitor para poder ser visualizado por el cirujano y el personal. Este dispositivo de realidad virtual permite al cirujano trabajar dinámicamente sobre

el paciente y ejecutar la cirugía del implante planificada, en cualquier momento el cirujano puede cambiar el plan en función a la situación clínica. (20) (21)

Para realizar este flujo de trabajo, es necesario tener uno o más marcadores fidedignos de referencia presentes y claramente visibles en la CBCT, ya que son utilizados al preparar el plan quirúrgico. (21)

Este marcador se fija al arco del paciente mediante un *stent* o tubo termoplástico, que normalmente se impresiona directamente sobre la dentición residual del paciente.

Para permitir un registro preciso, el *stent* debe fijarse en la misma ubicación y orientación de la arcada, desde el momento de toma de la CBCT, durante la osteotomía y en la colocación del implante. Un *stent* que no este alojado correctamente dará como resultado un error de guía, lo cual comprometerá la precisión de la cirugía navegada.

Otros inconvenientes del uso de un *stent* incluyen la necesidad de una CBCT adicional, tiempo extra para acondicionar el *stent* termoplástico (usar agua caliente para moldearlo y posteriormente agua fría para enfriarlo (22) (24); habilidad en la preparación del *stent* y posible interferencia del *stent* al colocar una pieza de mano cerca del sitio de perforación.



Fig. 8 a) Preparación del stent termoplástico conectado a un marcaje radiopaco (Asterix de Navident, ClaroNav). B) Colocación del stent para la toma de CBCT del paciente. (24)

Para superar estos inconvenientes, se introdujo un sistema llamado Registro de seguimiento o *Trace registration* (TR) de Navident (ClaroNav) y se promocionó comercialmente como TaP (*“Trace and Place”*) o rastrear y colocar para su sistema Navident 2. (23)

En lugar de un marcador de referencia radiográfico, TR utiliza estructuras que son visibles en la CBCT, como dientes, pilares o cierto tipo de restauraciones. La forma de estas estructuras debe ser detectada por el sistema de navegación antes de la cirugía, utilizando un enfoque de “escaneo de contacto de superficie”.

Se utiliza un lápiz óptico con punta de bola, llamado *Tracer*, para trazar entre 3 a 6 estructuras anatómicas dentro del arco, alineándose directamente con los datos de la CBCT volumétrica. Esto brinda un mapeo de registro entre el CBCT y el arco del paciente físico.

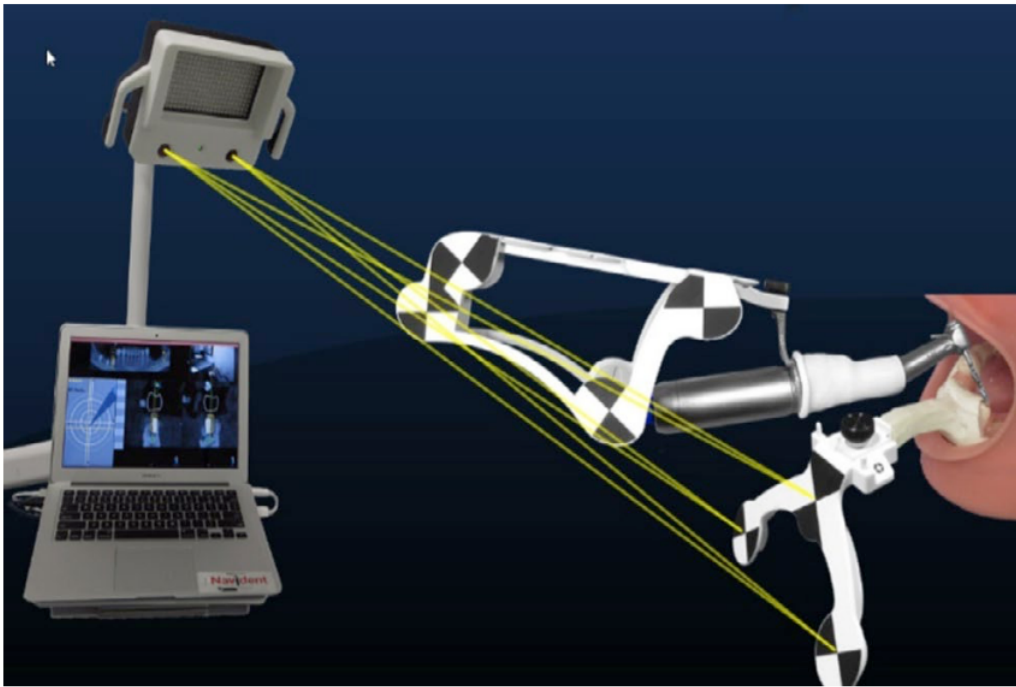


Fig. 9 Esquema que demuestra la detección de la cámara de video de la posición de la pieza de mano y la posición de la mandíbula a través de marcadores o etiquetas. (20)

El protocolo TR consta de tres pasos:

1. Plan: Creación del plan quirúrgico sobre la base de datos volumétricos de DICOM, obtenidos gracias a la CBCT. El flujo digital se completa por medio del software de planificación del sistema Navident, tomando en cuenta los puntos de referencia anatómicos, las irregularidades del tejido, hueso disponible y los dientes adyacentes y antagonistas. Se realiza de igual manera la fusión de la tomografía con el escaneo intraoral del paciente. (23)

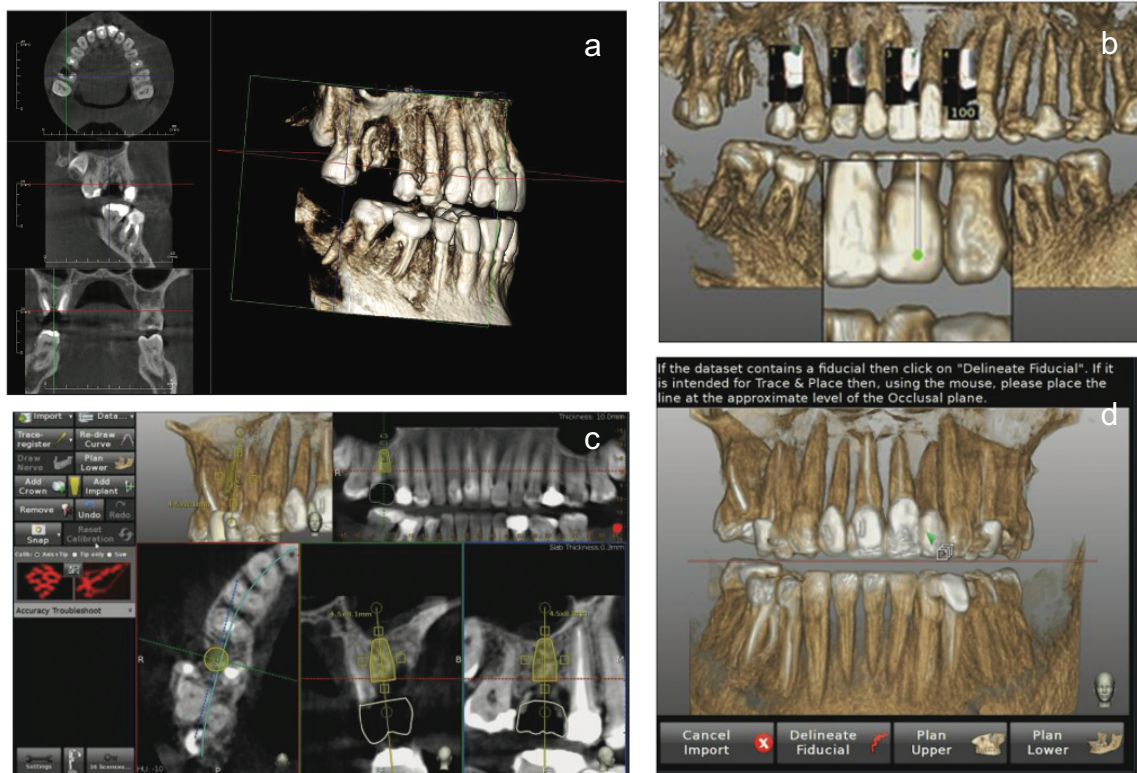


Fig. 10 a) Tomografía computarizada de haz cónico que muestra el sitio de colocación del implante. b) Arrastrando una línea roja al plano oclusal se localiza la zona donde se va a realizar la cirugía y colocación de implantes. c) Planeación de la cirugía, tomando en cuenta la longitud, angulación y grosor del implante mediante el software de Navident, y selección del diseño de la prótesis. d) Rastreo del trazo realizado en ambos lados de la región de interés.

2. Trace o rastreo: Registro de las estructuras anatómicas marcadas en la CBCT y asignar la imagen a las estructuras físicas del paciente. Para este proceso se instala el *head tracker* o rastreador de cabeza para permitir el seguimiento del maxilar o mandíbula del paciente durante la cirugía. Este rastreo se realiza por medio de un rastreador de micras o *Micron Tracker* que utiliza una visión estereoscópica en tiempo real.

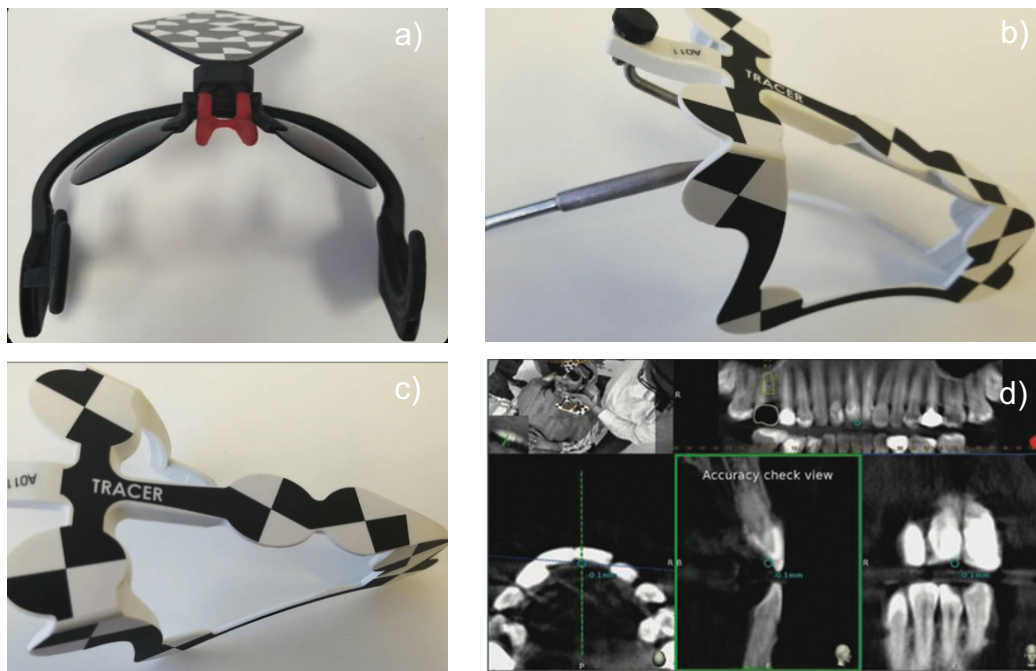


Fig. 11 a) Head tracker con ganchos para las orejas y almohadillas para la nariz. b) Herramienta de rastreo. c) etiqueta de rastreo. d) Puntos de referencia confirmados para una navegación precisa. (23)

3. Place o colocación: Colocación del implante según el plan por medio de navegación dinámica. (23)



Fig. 12 Elementos para la realización de. Cirugía guiada por navegación dinámica (Navident, ClaroNav, Toronto Canadá).

CAPÍTULO III. MARCO REFERENCIAL

El uso de cirugía guiada por computadora suele estar indicado en casos complejos en los que situaciones anatómicas, como la proximidad del nervio dentario inferior, o el piso del seno maxilar, hacen necesaria una cirugía precisa para evitar lesiones. Estas técnicas ya están disponibles en la práctica clínica.(24)

Un sistema guiado debe estar fácilmente disponible y ser rentable para realizar una cirugía guiada en todos los pacientes que reciben implantes dentales. A medida que la navegación dinámica esté más disponible y la base de pruebas confirme su precisión, los cirujanos deberán aceptar la curva de aprendizaje. (25) (26)

Es de gran importancia analizar los sistemas actualmente disponibles ya que esto permite discutir las posibilidades y limitaciones de estos sistemas, así como tener el conocimiento de la desviación máxima posible.(18)

Las posiciones que se analizan en diversos estudios son la dirección, angulación y profundidad del implante, comparándolo con la planeación prequirúrgica.

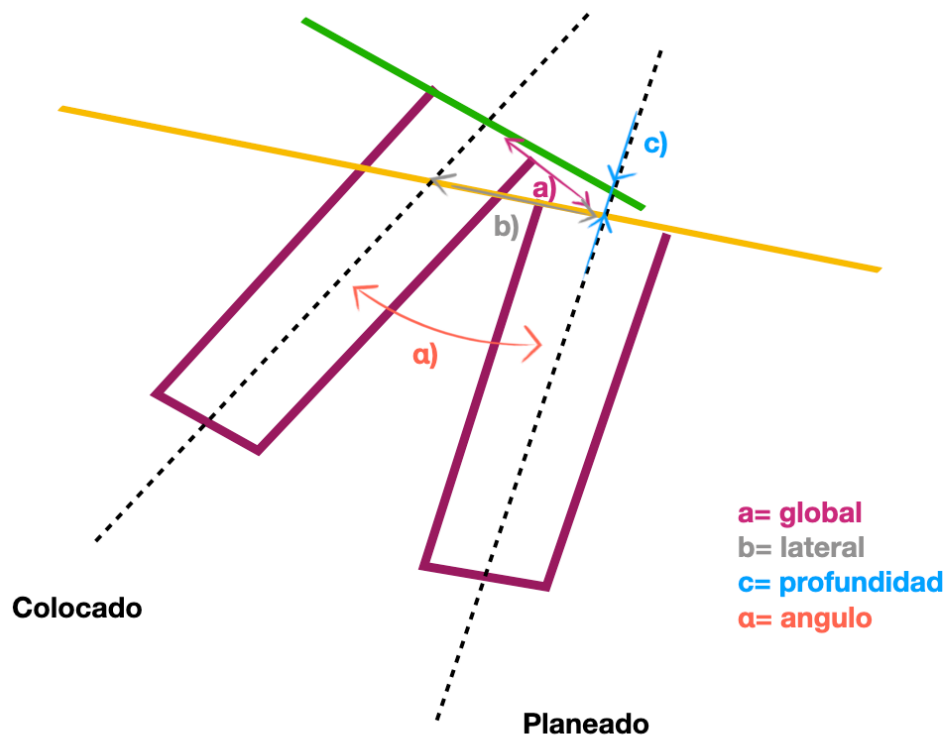


Fig. 13 Medidas estándar para la evaluación de exactitud entre el implante planeado vs colocado (o en su defecto implante colocado con sistema estático vs dinámico). (imagen propia).

- Desviación angular (grados): ángulo más grande en el espacio 3D entre los ejes centrales de los implantes planificados y colocados.
- Desviación global (mm): Desviación global del implante planificado y colocado (tiene en cuenta el ángulo, la profundidad y la posición).
- Desviación de profundidad (mm): diferencia de profundidad del implante entre los implantes planificados y colocados.(27)
- Desviación lateral (mm): diferencia en la colocación mesiodistal y bucolingual del implante entre los implantes planificados y colocados. Se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas. (27)(26)

Cuando se coloca un implante en la ubicación y angulación ideal, la restauración protésica planificada debe ser óptima. A medida que aumentan las desviaciones en la colocación de implantes, los métodos protésicos se vuelven más complicados y pueden comprometer el resultado final.(26) (28)

Actualmente, la literatura disponible sobre el tema ha ido en aumento, desde la información sobre diferentes técnicas guiadas, sobre la precisión de la posición de los implantes en comparación con la planificación digital virtual, así como los resultados clínicos.(18)(25)

La navegación dinámica tiene una serie de ventajas inherentes sobre la navegación estática. La navegación dinámica permite modificaciones en tiempo real del plan quirúrgico según sea necesario cuando esté clínicamente in(29)dicado, permite la visualización directa del campo quirúrgico en todo momento.

La navegación dinámica se puede utilizar en pacientes con apertura bucal limitada y en el área posterior de la boca, como los sitios de los segundos molares.

La guía dinámica no está restringida por el tamaño del tubo de perforación.

Los sistemas de navegación dinámica son completamente “abiertos” y no requieren instrumentación especial. Incluso los sistemas de implantes guiados estáticamente no patentados requieren que se utilicen fresas muy específicas de una forma predeterminada.

El tamaño del implante no está limitado con los sistemas guiados dinámicamente como lo está con las guías estáticas. A medida que aumenta el tamaño de los implantes, se debe aumentar el tamaño de los tubos de fresado en las guías estáticas y esto puede limitar la posibilidad de colocar implantes de mayor tamaño. Los sistemas de implantes guiados dinámicamente son convenientes para el paciente y el médico. Al paciente se le puede tomar la tomografía computarizada, planificar la posición del implante y colocar el implante bajo guía asistida por computadora el mismo día. No es necesario fabricar una guía en un laboratorio o esperar a que se imprima una guía en una impresora 3D. Finalmente, la guía dinámica permite mejorar la ergonomía del cirujano durante la cirugía. El cirujano visualiza el campo quirúrgico durante el procedimiento de perforación mientras mira el monitor de una computadora y no necesita agacharse ni torcerse para colocar el implante.(25)(26)(30)

Somogyi-Ganss et al., (26) in 2015, examinó la precisión del sistema Navident por medio de un estudio in vitro, los resultados con respecto a la desviación de profundidad (variación de 0. A 3,3 mm).

Un metaanálisis publicado por Jung y colaboradores reveló que las precisiones del punto de entrada y del vértice son significativamente más altas cuando se utilizan sistemas de navegación dinámica, en comparación con guías quirúrgicas estáticas tradicionales. (26)(25)

Block et al., concluyeron que la precisión del sistema de navegación dinámica evaluado mejoró significativamente en comparación con la colocación de implantes a mano alzada y después de 20 casos, hubo diferencias mínimas de precisión entre los cirujanos expertos e inexpertos. (26)

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS

Se realizó una búsqueda electrónica de información científica utilizando la Base de Datos en Salud MedLine a través de PubMed, Base de Datos Multidisciplinares: Springer Link, Bibliotecas Electrónicas: Scopus, Wiley y Google Académico.

Tabla 4. Resultado de la búsqueda de artículos.

Palabras clave	Google Académico	Wiley	Springer link	Pubmed
Computer assisted surgery	2	3	2	2
Dental implants	2	3	4	7
Dynamic navigation	3	4	2	5
Guided surgery	2	3	2	3

2.2 Criterios de Búsqueda

Se realizó una búsqueda en un rango de tiempo establecido entre 2017-2022, durante el periodo de enero 2022 a abril 2022.

Palabras clave:

Computer assisted surgery

Dental implants

Dynamic navigation

Guided surgery

2.3 Criterios de Selección

1. Inclusión:

Artículos con que se incluya el uso de cirugía de navegación dinámica

Artículos con diseño de estudio *in vitro*

Artículos en idioma inglés y español

Artículos con año de publicación 2017-2022

2. Exclusión:

Artículos sin relevancia para esta tesina.

Artículos por debajo del estándar de calidad de la publicación.

3. Eliminación:

Artículos repetidos.

Artículos no relacionados a la navegación dinámica.

Artículos no relacionados con guías estáticas en 3D.

Se obtuvieron 49 artículos de los cuales se seleccionaron 6 para su completo análisis.

Tabla 5. Artículos seleccionados

Autor, año	Tipo de evidencia	Objetivo	Conclusión
Stefanelli et al. 2020 (31)	Control clínico aleatorizado	Evaluar el uso de implantes pterigoideos utilizando el sistema de Navegación Dinámica Navident y comparar la exactitud en contraste con el protocolo de mano alzada.	La cirugía de implantes pterigoideos puede ser una modalidad predecible y exitosa para la rehabilitación de implantes dirigidos protésicamente en la maxila posterior atrófica, es más precisa que la cirugía a mano alzada y lleva menos tiempo cuando se utiliza la navegación dinámica
Matsumara et al. 2021 (32)	Clínico retrospectivo	Aclarar los factores que afectan los errores de posición de colocación de implantes en cirugía guiada por implantes	este estudio aclaró que el diseño de la guía quirúrgica, el número de dientes que soportan la guía quirúrgica, el ajuste del pin de anclaje y la estructura de refuerzo, influyen en el error de posición de colocación del implante durante la cirugía guiada
Yimarj et al. 2020 (33)	Control clínico aleatorizado	Comparar la precisión de la posición del implante, así como el paralelismo entre dos implantes colocados con un sistema estático o dinámico para soportar una prótesis dental fija en pacientes parcialmente desdentados.	Los sistemas estáticos y dinámicos parecen lograr resultados clínicos similares cuando se colocan dos implantes in vivo, pero también con respecto al paralelismo del implante. Ambos pueden estar indicados para colocar múltiples implantes y soportar la misma prótesis, con la elección dirigida por las preferencias del cirujano, las condiciones anatómicas del paciente y las indicaciones y limitaciones inherentes a cada sistema.
Kaewsiri et al. 2018 (3)	Control clínico aleatorizado	Comparar la precisión de la colocación de implantes en términos de desviación de la posición óptima planificada digitalmente, así como investigar la distribución de la desviación en cada dirección 3D entre implantes colocados usando sistemas CAIS estáticos y dinámicos en un solo espacio dental.	Dentro de las limitaciones de este estudio, la colocación de implantes en el espacio de un solo diente con el sistema CAIS dinámico se muestra tan precisa como con el sistema CAIS estático. Las conclusiones solo reflejan los resultados de esta investigación sobre sistemas CAIS específicos y es posible que no se apliquen a todos los sistemas disponibles. Se requerirán más estudios para comparar la precisión de tales sistemas en condiciones anatómicas más desafiantes,

			como con múltiples implantes en pacientes parcial y totalmente desdentados.
Wu et al. 2020(1)	Retrospectivo	Analizar la presión del sistema de navegación dinámica en la aplicación clínica de implantes orales, analizar factores como el nivel de experiencia del cirujano y los sitios de implantes, que puedan afectar la precisión	La navegación dinámica puede lograr la colocación precisa del implante, así como la guía quirúrgica estática. Además, el nivel de experiencia del cirujano y el lugar del implante no influyen en la precisión de la navegación dinámica, mientras que la precisión de sistema dinámico parece mayor que la del estático en molar.
Stefanelli, Mandelaris et al. 2020(34)	Serie de casos	Evaluar si hay diferencia de precisión cuando se rastrea un área de superposición más amplia (entre el arco y la CBCT) y evaluar la exactitud del flujo de trabajo en el sistema de navegación dinámica, (entre la planeación y la colocación).	El uso de este sistema para el tratamiento de pacientes con al menos tres dientes estables que necesitan ser extraídos para un tratamiento protésico totalmente sobre implantes es una técnica prometedora porque le permite al clínico realizar una colocación de implantes altamente exacta y precisa.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

La introducción de implantes ha contribuido a tratamientos más confiables para los pacientes, ya que se ha encontrado una estabilidad exitosa a largo plazo en los tratamientos para el edentulismo parcial y completo basados en implantes dentales. Hoy, la implantología dental se enfoca en ser mínimamente invasiva, específicamente en la colocación de implantes guiados protésicamente. Los implantes que no se colocan en una posición favorable corren el riesgo de complicaciones futuras que involucren los componentes protésicos o los tejidos periimplantarios. La colocación exitosa del implante no solo se juzga por la osteointegración sino también por la estética.(32)(35)

La posición del implante es fundamental para producir una prótesis estéticamente agradable y una posición inadecuada se considera un factor de riesgo de periimplantitis.(36)

Los dos diferentes sistemas de cirugía guiada que se han desarrollado en este análisis de literatura han demostrado ser métodos confiables y predecibles, a comparación con los protocolos convencionales. (Tabla 6)

Tabla 6. Resultados

Artículo, año	Tipo de guía		N pacientes/ modelos		N implantes		D coronal en mm		D apical en mm		D angular en °	
	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E
<i>Stefanelli et al. 2020</i>	FH	DN	19	19	31	32	1.54	0.66	2.73	1.13	12.49°	2.64°
<i>Matsumara et al. 2021</i>		FG	122	122		188		0.98		0.98		2.69°
<i>Yimarj et al. 2020</i>	FG	DN	15	15	30	30	1.04	1.24	1.54	1.58	4.08	3.78
<i>Kaewsiri et al. 2018</i>	FG	DN	30	30	30	30	0.97	1.05	1.28	1.29	2.84	3.06
<i>Wu et al. 2020</i>	FG	DN	29	25	57	38	1.22	1.36	1.33	1.48	4.34	3.71
<i>Stefanelli, Mandelaris et al. 2020</i>		DN		13		77		0.26		0.29		0.7

N, Numero. D, Diámetro. C, Control. E, Experimental.



Frase completa	Abreviatura
Navegación Dinámica/Dynamic Navigation	DN
Completamente Guiado/Full-Guided	FG
Guía Semirestrictiva/Half-Guided	HG
Mano Alzada/Free-Hand	FH

Un número reducido de estudios ha evaluado la precisión entre los diferentes sistemas de navegación dinámica, describiendo comúnmente una precisión de 1 a 2 mm in vitro cuando se utilizan sistemas de navegación dinámica de primera generación.

Somogyi-Ganns et al. (2015) (27) realizaron un estudio piloto probando tres sistemas populares de guía estática (Simplant (Materialise Dental, Lovaina, Bélgica); Cirugía guiada Straumann, (Instituto Straumann AG, Basilea, Suiza); NobelClinician, (Nobel Biocare AG, Zúrich, Suiza)) frente a un prototipo inicial del sistema de navegación utilizado en este estudio. Todos los sistemas, incluidas las guías de acrílico fabricadas en laboratorio, proporcionaron una tasa de desviación

aceptable (<2 mm lineal y 5° angular), mientras que el sistema de navegación proporcionó una mayor precisión (1,14 y 1,71 mm lineal y 2,99° angular). (37)

Teniendo en cuenta los costos adicionales y la mano de obra, los beneficios de la cirugía de implante guiada, especialmente en el caso de un dispositivo de navegación, se han debatido frente a la técnica convencional a mano alzada. (24)(27)

A pesar de que la cirugía dinámica requiere una inversión inicial en capacitación y trabajo, tiene el potencial de brindar muchas ventajas sobre el enfoque estático:

- Permite tener en una sola cita: escaneo, planificación y cirugía. (Cuando un CBCT está disponible en el sitio.
 - La seguridad y la previsibilidad aumentan debido a la capacidad de verificar la precisión en cualquier momento durante la cirugía.
 - La planificación es más simple y rápida, la segmentación de la superficie y el diseño de la guía no se tienen que imprimir y se pueden hacer en la clínica.
 - Los costos previos al procedimiento son aparentemente más bajos.
 - Se mejora la ergonomía del cirujano.
 - Se eliminan las fallas de las guías porque no hay guías rotas o mal ajustadas.
- (38)(39)

Aunque se reportan ventajas utilizando la navegación dinámica, este método requiere que el cirujano coordine su vista de la pantalla con los movimientos de sus manos. La mirada fuera del sitio del implante con la rotación de la cabeza para mirar la pantalla del sistema de navegación podría representar un riesgo en caso de desplazamiento accidental del instrumento quirúrgico o movimiento inesperado del paciente, especialmente en implantología avanzada.

El uso de la realidad aumentada (RA) puede superar este inconveniente y también reducir el tiempo de la operación.

Las categorías de cirugía guiada por RA se agrupan de la siguiente manera:

- tipo I, que implica el uso de anteojos o cascos
- tipo II, con datos digitales que se proyectan en un espejo
- tipo III, donde las imágenes son mostradas directamente sobre los pacientes
- tipo IV, con el uso de un monitor externo.

].

Aguamanil et al., informó un beneficio médico significativo para los pacientes cuando la navegación y AR se utilizan para la colocación de implante.

D'haese et al. [2017] informaron que el uso de navegación dinámica en la colocación de implantes sin colgajo fue precisa, predecible y segura en aquellos pacientes con un reborde mandibular ancho, regular y liso en comparación a una arquitectura ósea más irregular que terminó en una colocación de implante más difícil y menos preciso.(19)

El sistema de navegación dinámica tiene varias ventajas sobre las guías quirúrgicas estáticas:

- El sistema de navegación dinámica se puede utilizar en sitios con espacios verticales limitados como los sitios del segundo molar o en pacientes con aperturas bucales limitadas. Las guías quirúrgicas generadas por computadora son más difíciles de usar en tales escenarios porque son voluminosos y el sistema requiere fresas de implante más largas e instrumentación especial.
- Permite la visualización directa del campo quirúrgico mientras que las guías quirúrgicas estáticas bloquean la vista directa a los sitios quirúrgicos.
- Los movimientos de las fresas y los implantes pueden monitorearse en tiempo real y la precisión puede ser verificado durante todo el procedimiento.
- Los tubos guía de las guías quirúrgicas estáticas tienen ciertas dimensiones y pueden ser demasiado anchos para sitios de espacio estrecho mesiodistal.

- Es difícil juzgar la densidad ósea durante el proceso de fresado porque las fricciones entre las fresas del implante y los tubos guía de las guías quirúrgicas estáticas interfieren con el tacto.
- El sistema de navegación dinámica proporciona una mejor sensación táctil durante preparaciones de osteotomía.
- El sistema de navegación dinámica permite modificar los planes quirúrgicos durante la cirugía
- El sistema de navegación dinámica permite realizar la cirugía el mismo día que la CBCT. No es necesario esperar a la fabricación de las guías quirúrgicas.(40)

Un estudio piloto publicado por Golob et al.(20), se diseñó para evaluar la progresión del aprendizaje y la precisión en la colocación de implantes dentales en un modelo de simulación, cuando se utiliza un sistema de navegación dinámica guiada por computadora, como Navident.

Esto para definir la curva de aprendizaje y el número mínimo de intentos necesarios al utilizar el sistema de navegación de implantes guiado por computadora para mejorar la habilidad de colocación de implantes en un cirujano principiante.

Como conclusión, los cirujanos novatos demostraron mejora significativa de las habilidades de colocación de implantes con Navegación Dinámica después de 3 intentos.

Mediavilla et al.(2), concluyeron que los resultados mostraron una colocación precisa del implante con el uso de sistemas dinámicos y estáticos.

Sin embargo, el sistema de navegación dinámica tiene una curva de aprendizaje.

Un error en el sistema que afecte a la relación entre los puntos de referencia y el paciente puede conducir a un error durante la perforación y la colocación del implante.

La necesidad de precaución durante todos los pasos de la cirugía es obligatoria para evitar una consecuencia iatrogénica para el paciente (Somogyi-Ganss et al.,

2015). Requiere una curva de aprendizaje y se requiere un período de capacitación antes de trabajar con pacientes (Block et al., 2017). (41)

Tabla 7. Comparación de ventajas y desventajas. (40)

Sistema	Ventajas	Desventajas
Navegación Dinámica	<ul style="list-style-type: none"> • se puede utilizar en sitios con espacios verticales limitado • Permite la visualización directa del campo quirúrgico • Los movimientos de las fresas y los implantes pueden monitorearse en tiempo real • permite modificar los planes quirúrgicos durante la cirugía • permite realizar la cirugía el mismo día que la CBCT 	<ul style="list-style-type: none"> • Curva de aprendizaje y requiere capacitación adecuada del sistema. • Una mal posición entre los puntos de referencia anatómicos reales y los seleccionados en la CBCT nos dan un fresado erróneo. • El sistema exige el manejo y dominio de visión indirecta.
Guías Estáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Permiten una cirugía sin colgajo, siendo menos traumático para el paciente. • Cuando se maneja correctamente la planeación prequirúrgica, las guías estáticas completamente guiadas ofrecen máxima precisión. Costo inicial es relativamente más económico a comparación del sistema dinámico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los tubos guía de las guías quirúrgicas estáticas tienen ciertas dimensiones y pueden ser demasiado anchos para sitios de espacio estrecho mesiodistal • Es difícil juzgar la densidad ósea durante el proceso de fresado porque las fricciones entre las fresas del implante y los tubos guía de las guías quirúrgicas estáticas interfieren con el tacto. • Las guías quirúrgicas estáticas bloquean la vista directa a los sitios quirúrgico.

CONCLUSIÓN:

Los sistemas guiados dinámicamente pueden presentar una herramienta de enseñanza en el desarrollo temprano de habilidades clínicas en la colocación de implantes para el operador novato.

El uso de cualquiera de los dos sistemas evaluados en esta literatura brinda altos niveles de exactitud y permiten tener un pronóstico altamente favorable.

La planificación digital de implantes y la cirugía guiada de implantes ofrecen muchas ventajas en términos de preparación optimizada del tratamiento quirúrgico y protésico dando un resultado predecible y exitoso.

Se necesitan más investigaciones clínicas para evaluar los beneficios del enfoque por medio de navegación dinámica, incluido el análisis del consumo de tiempo, así como costo beneficio en comparación con otros métodos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Wu D, Zhou L, Yang J, Zhang B, Lin Y, Chen J, et al. Accuracy of dynamic navigation compared to static surgical guide for dental implant placement. *Int J Implant Dent.* 2020 Dec;6(1).
2. Guzmán AM, Deglow ER, Zubizarreta-Macho Á, Agustín-Panadero R, Montero SH. Accuracy of computer-aided dynamic navigation compared to computer-aided static navigation for dental implant placement: An in vitro study. *J Clin Med.* 2019 Dec 1;8(12).
3. Kaewsiri E, Al. The accuracy of static vs. dynamic computer-assisted implant surgery in single tooth space: A randomized controlled trial [Internet]. 2019 [cited 2022 May 29]. Available from: wileyonlinelibrary.com/journal/clr
4. Zhan Y, Wang M, Cheng X, Li Y, Shi X, Liu F. Evaluation of a dynamic navigation system for training students in dental implant placement. *J Dent Educ.* 2021 Feb 1;85(2):120–7.
5. El Kholy K, Ebenezer S, Wittneben JG, Lazarin R, Rousson D, Buser D. Influence of implant macrodesign and insertion connection technology on the accuracy of static computer-assisted implant surgery. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2019 Oct 1;21(5):1073–9.
6. D'haese J, Van De Velde T, Komiyama A, Hultin M, De Bruyn H. Accuracy and Complications Using Computer-Designed Stereolithographic Surgical Guides for Oral Rehabilitation by Means of Dental Implants: A Review of the Literature. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012 Jun;14(3):321–35.
7. Wei SM, Zhu Y, Wei JX, Zhang CN, Shi JY, Lai HC. Accuracy of dynamic navigation in implant surgery: A systematic review and meta-analysis. Vol. 32, *Clinical Oral Implants Research.* Blackwell Munksgaard; 2021. p. 383–93.
8. P. K. The art of computer-guided implantology. *BDJ*; 2010. 208 p.
9. Misch CE. *Contemporary Implant Dentistry.* St. Louis; 1999.
10. Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Salomó-Coll O, Wang H lay. Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. Vol. 225, *Annals of Anatomy.* Elsevier GmbH; 2019. p. 1–10.
11. Schneider D, Sancho-Puchades M, Benic G, Hämmerle C, Jung R. A Randomized Controlled Clinical Trial Comparing Conventional and Computer-Assisted Implant Planning and Placement in Partially Edentulous Patients. Part 1: Clinician-Related Outcome Measures. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2018;38:s49–57.
12. Schubert O, Schweiger J, Stimmelmayr M, Nold E, Güth JF. Digital implant planning and guided implant surgery – workflow and reliability. *Br Dent J.* 2019 Jan 25;226(2):101–8.
13. Flügge T, Derksen W, te Poel J, Hassan B, Nelson K, Wismeijer D. Registration of cone beam computed tomography data and intraoral surface scans – A prerequisite for guided implant surgery with CAD/CAM drilling guides. *Clin Oral Implants Res.* 2017;28(9):1113–8.
14. Ligon SC, Liska R, Stampfl J, Gurr M, Mülhaupt R. Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing. *Chem Rev.* 2017;117(15):10212–90.
15. Sommacal B, Savic M, Filippi A, Köhl S, Thieringer F. Evaluation of Two 3D

- Printers for Guided Implant Surgery. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2018;33(4):743–6.
16. Mangano FG, Hauschild U, Admakin O. Full in-office guided surgery with open selective tooth-supported templates: A prospective clinical study on 20 patients. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(11).
 17. Mezger U, Jendrewski C, Bartels M. Navigation in surgery. *Langenbeck's Arch Surg*. 2013;398(4):501–14.
 18. Jorba-García A, Figueiredo R, González-Barnadas A, Camps-Font O, Valmaseda-Castellón E. Accuracy and the role of experience in dynamic computer guided dental implant surgery: An in-vitro study. *Med Oral Patol Oral y Cir Bucal*. 2019 Jan 1;24(1):e76–83.
 19. D'haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, De Bruyn H, Tahmaseb A. Current state of the art of computer-guided implant surgery. *Periodontol* 2000. 2017;73(1):121–33.
 20. Golob Deeb J, Bencharit S, Carrico CK, Lukic M, Hawkins D, Rener-Sitar K, et al. Exploring training dental implant placement using computer-guided implant navigation system for predoctoral students: A pilot study. *Eur J Dent Educ*. 2019 Nov 1;23(4):415–23.
 21. Panchal N, Mahmood L, Retana A, Emery R. Dynamic Navigation for Dental Implant Surgery. Vol. 31, *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. W.B. Saunders; 2019. p. 539–47.
 22. Stefanelli L, Mandelaris G, DeGroot B, Gambarini G, De Angelis F, Di Carlo S. Accuracy of a Novel Trace-Registration Method for Dynamic Navigation Surgery. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2020 May;40(3):427–35.
 23. Jain S, Solanki A. A dynamic surgical navigational approach for immediate implantation and transcrestal sinus augmentation. *J Indian Soc Periodontol*. 2021 Sep 1;25(5):451–6.
 24. Aydemir CA, Arisan V. Accuracy of dental implant placement via dynamic navigation or the freehand method: A split-mouth randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res*. 2020 Mar 1;31(3):255–63.
 25. Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, Derksen W. Computer Technology Applications in Surgical Implant Dentistry: A Systematic Review. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29(Supplement):25–42.
 26. Block MS, Emery RW, Cullum DR, Sheikh A. Implant Placement Is More Accurate Using Dynamic Navigation. *J Oral Maxillofac Surg*. 2017 Jul 1;75(7):1377–86.
 27. Somogyi-Ganss E, Holmes HI, Jokstad A. Accuracy of a novel prototype dynamic computer-assisted surgery system. *Clin Oral Implants Res*. 2015;26(8):882–90.
 28. Farley NE, Kennedy K, McGlumphy EA, Clelland NL. Split-Mouth Comparison of the Accuracy of Computer-Generated and Conventional Surgical Guides. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2013;28(2):563–72.
 29. Tawil I. CONTINUING EDUCATION 2 DENTALSURGERY How Dynamic Navigation Can Improve Accuracy and Minimize Errors [Internet]. Available from: www.compendiumlive.com
 30. Kim SG, Lee WJ, Lee SS, Heo MS, Huh KH, Choi SC, et al. An advanced navigational surgery system for dental implants completed in a single visit: An

- in vitro study. *J Cranio-Maxillofacial Surg* [Internet]. 2015;43(1):117–25. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcms.2014.10.022>
31. Stefanelli L, Graziani U, Pranno N, Di Carlo S, Mandelaris G. Accuracy of Dynamic Navigation Surgery in the Placement of Pterygoid Implants. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2020 Nov;40(6):825–34.
 32. Matsumura A, Nakano T, Ono S, Kaminaka A, Yatani H, Kabata D. Multivariate analysis of causal factors influencing accuracy of guided implant surgery for partial edentulism: a retrospective clinical study. *Int J Implant Dent*. 2021 Dec;7(1).
 33. Yimarj P, Subbalekha K, Dhaneuan K, Siriwatana K, Mattheos N, Pimkhaokham A. Comparison of the accuracy of implant position for two-implants supported fixed dental prosthesis using static and dynamic computer-assisted implant surgery: A randomized controlled clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2020 Dec 1;22(6):672–8.
 34. Stefanelli L V., Mandelaris GA, Franchina A, Pranno N, Pagliarulo M, Cera F, et al. Accuracy of dynamic navigation system workflow for implant supported full arch prosthesis: A case series. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jul 2;17(14):1–15.
 35. Buser D, Martin W, Belser UC. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla: anatomic and surgical considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants* [Internet]. 2004;19 Suppl(February):43–61. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15635945>
 36. Vercruyssen M, Coucke W, Naert I, Jacobs R, Teughels W, Quirynen M. Depth and lateral deviations in guided implant surgery: an RCT comparing guided surgery with mental navigation or the use of a pilot-drill template. *Clin Oral Implants Res*. 2015;26(11):1315–20.
 37. Schneider D, Sax C, Sancho-Puchades M, Hämmerle CHF, Jung RE. Accuracy of computer-assisted, template-guided implant placement compared with conventional implant placement by hand—An in vitro study. *Clin Oral Implants Res*. 2021 Sep 1;32(9):1052–60.
 38. Parra-Tresserra A, Marquès-Guasch J, Ortega-Martínez J, Basilio-Monné J, Hernández-Alfaro F. Current state of dynamic surgery. A literature review. Vol. 26, *Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal*. Medicina Oral S.L.; 2021. p. e576–81.
 39. Pellegrino G, Mangano C, Mangano R, Ferri A, Taraschi V, Marchetti C. Augmented reality for dental implantology: A pilot clinical report of two cases. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):1–8.
 40. Chen JT. *Journal of Oral Implantology Cover Letter SST Navigation Cover Letter . docx*.
 41. Brief J, Edinger D, Hassfeld S, Eggers G. Accuracy of image-guided implantology. *Clin Oral Implants Res*. 2005;16(4):495–501.