Tema:

CREACIÓN DEL PACIENTE:

A TRAVÉS DE TÉCNICA DIGITAL 4D VS. TÉCNICA CONVENCIONAL ANÁLOGA Y SU RELACIÓN A UNA MAYOR PRECISIÓN DURANTE LA FASE DE PLANIFICACIÓN EN REHABILITACIÓN ORAL – REVISIÓN DE LITERATURA

AUTOR

Geanella Judith Panchana Vargas

OD, Residente Postgrado de Rehabilitación oral CES

ASESORA

Sara Gallego Roldán

OD, Rehabilitador Oral, Docente Titular Facultad de odontología CES

Universidad CES

Facultad Odontología

Posgrado rehabilitación oral

Medellín

2025

Resumen

La rehabilitación oral ha evolucionado considerablemente gracias a las herramientas digitales emergentes. En este contexto, la planificación con paciente virtual 4D representa una alternativa innovadora frente a la planificación convencional. Esta revisión de literatura analiza y compara ambos enfoques en términos de precisión diagnóstica, predicción estética y funcional, comunicación interdisciplinaria, viabilidad clínica y accesibilidad. Se revisaron 30 artículos científicos publicados entre 2015 y 2024. Se evidenció que la planificación digital 4D permite una personalización detallada del tratamiento, aunque presenta limitaciones relacionadas con los costos, la curva de aprendizaje y la disponibilidad tecnológica. En contraste, la planificación convencional se mantiene como una alternativa eficaz y accesible, especialmente en contextos con recursos limitados. Este trabajo pretende ofrecer una visión crítica para la selección adecuada de herramientas según las necesidades clínicas del paciente y del entorno profesional.

Palabras clave: odontología digital, planificación digital, paciente virtual dinámico

Abstract

Oral rehabilitation has significantly evolved through the integration of emerging digital tools. In this context, 4D virtual patient-based planning represents an innovative alternative to conventional methods. This literature review analyzes and compares both approaches regarding diagnostic accuracy, aesthetic and functional predictability, interdisciplinary communication, clinical feasibility, and accessibility. Thirty scientific articles published between 2015 and 2024 were reviewed. Evidence suggests that 4D planning enables highly personalized treatment outcomes, although it is constrained by

high costs, a steep learning curve, and technological availability. In contrast, conventional planning remains a reliable and accessible option, especially in resource-limited settings. This paper aims to offer a critical perspective to assist clinicians in selecting appropriate planning tools based on patient needs and clinical context.

Keywords: digital dentistry, digital planning, dynamic virtual patient

Materiales y métodos

Se realizó una revisión de literatura, basada en evidencia científica, con elementos de revisión sistemática. Se llevó a cabo una búsqueda estructurada en las bases de datos *PubMed, Scopus*, entre enero de 2015 y marzo de 2024.

Criterios de inclusión

- Artículos en inglés o español.
- Publicaciones entre 2015 y 2024.
- Estudios clínicos, revisiones sistemáticas, estudios observacionales o ensayos controlados aleatorizados que comparen planificación digital 4D vs. convencional en rehabilitación oral.
- Estudios que reporten resultados estéticos, funcionales o clínicos relacionados con la planificación.

Criterios de exclusión

- Artículos sin revisión por pares.

- Cartas al editor, opiniones o reportes de caso aislado sin metodología comparativa.
- Investigaciones no enfocadas en rehabilitación oral o sin comparación directa entre metodologías de planificación.

Estrategia de búsqueda

Se utilizaron las siguientes combinaciones de términos MeSH y operadores booleanos:

- (“Oral Rehabilitation” AND “Virtual Patient” AND “Treatment Planning” AND “Digital Dentistry”)
- (“Rehabilitation” AND “4D Imaging” AND “Artificial Intelligence” AND “Conventional Dentistry”)
- (“Digital Workflow” AND “Prosthodontics” AND “Treatment Outcomes”)

Objetivos

Objetivo General

Comparar, con base en literatura científica reciente, los beneficios y limitaciones de la planificación del tratamiento utilizando paciente virtual 4D frente a la planificación convencional, en relación con los resultados funcionales y estéticos en rehabilitación oral.

Objetivos Específicos

- Analizar las herramientas digitales avanzadas asociadas al uso del paciente virtual 4D en rehabilitación oral.

- Evaluar la influencia de ambas modalidades de planificación (virtual 4D vs. convencional) en la precisión diagnóstica, predicción estética y restauración funcional.
- Identificar las principales barreras clínicas, técnicas y económicas en la implementación de cada modalidad.

Hipótesis

El uso de técnicas digitales basadas en el paciente virtual 4D permite una mayor precisión en la planificación y ejecución de los tratamientos de rehabilitación oral en comparación con las técnicas convencionales análogas, lo que se traduce en una mejor predictibilidad de los resultados funcionales y estéticos, así como en una reducción de errores clínicos y operatorios.

Introducción

La planificación del tratamiento en rehabilitación oral ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, pasando de métodos analógicos basados en modelos físicos, radiografías 2D y registros clínicos, a flujos de trabajo digitales que incorporan escaneos tridimensionales, diseño asistido por computadora (CAD), manufactura CAM y herramientas de análisis dinámico (1). En el contexto de la rehabilitación oral, la planificación del tratamiento sirve como el elemento fundamental sobre el cual se construyen las intervenciones exitosas. Los métodos analógicos tradicionales, que han sido la piedra angular de la práctica dental durante décadas, generalmente involucran impresiones físicas, uso de arco facial para registro de posición del maxilar, registros oclusales con siliconas o ceras y fotografías en 2D como métodos de registro del

paciente. Estos enfoques convencionales han facilitado una metodología estructurada para el diagnóstico y el tratamiento; Sin embargo, a menudo introducen variables que pueden afectar la precisión y previsibilidad de los resultados del tratamiento. Las técnicas analógicas requieren tiempo y recursos considerables, y la información transferida desde la evaluación inicial hasta la restauración final está sujeta a limitaciones del mundo real, como errores humanos e inexactitudes materiales. Por el contrario, la aparición de las técnicas digitales 4D representa un cambio de paradigma en la práctica dental, integrando imágenes avanzadas y tecnologías computacionales en el proceso de planificación del tratamiento. Mediante el uso de escaneo digital, imágenes tridimensionales y diseño y fabricación asistidos por computadora (CAD/CAM), estas técnicas mejoran la precisión de las mediciones dimensionales y crean un entorno virtual para simular planes de tratamiento. El término " 4D" en este contexto generalmente se refiere a la inclusión del tiempo y el movimiento mandibular al entorno tridimensional, permitiendo cambios temporales en las condiciones del paciente o el progreso del tratamiento para visualizar y tener en cuenta en el proceso de planificación. Esta capacidad puede revolucionar la rehabilitación oral al proporcionar a los profesionales datos dinámicos en tiempo real que podrían mejorar la previsibilidad, la eficiencia y los resultados del paciente (2).

La rehabilitación oral demanda una precisión diagnóstica elevada y la anticipación de factores estéticos y funcionales. En este contexto, las plataformas digitales integradas permiten planificaciones reversibles y predictivas, facilitando la comunicación interdisciplinaria entre odontólogos restauradores, prostodoncistas, cirujanos orales y técnicos dentales (3). La planificación digital, en especial mediante el uso del paciente

virtual 4D, ha emergido como una alternativa prometedora en este contexto, no obstante, su aplicación aún enfrenta limitaciones clínicas, económicas y técnicas. El paciente virtual 4D incorpora no solo una representación tridimensional precisa del sistema estomatognático, sino también el factor tiempo, integrando dinámicas funcionales como los movimientos mandibulares y la expresión facial en distintos momentos del ciclo oclusal. Esta tecnología permite simular procedimientos rehabilitadores completos en un entorno digital, lo que optimiza la comunicación interdisciplinaria, incrementa la predictibilidad del tratamiento y mejora la experiencia del paciente (4).

Herramientas como los escáneres intraorales, la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), el diseño asistido por computadora (CAD), la manufactura asistida por computadora (CAM), el análisis facial dinámico y la inteligencia artificial se integran para construir este modelo virtual dinámico (5)

El presente trabajo tiene como propósito comparar ambas modalidades de planificación convencional y virtual 4D desde una perspectiva basada en evidencia científica. Esta revisión de literatura busca identificar los beneficios y limitaciones de cada enfoque, evaluar su impacto clínico y orientar al profesional en la toma de decisiones durante la planificación del tratamiento rehabilitador.

Marco teórico

La evolución de la planificación en rehabilitación oral ha sido influenciada por la creciente adopción de tecnologías digitales, especialmente con el desarrollo del paciente virtual 4D. Este modelo digital dinámico permite representar la anatomía y función del sistema estomatognático, considerando no solo estructuras estáticas tridimensionales, sino

también su comportamiento a lo largo del tiempo, como los movimientos mandibulares y la dinámica facial (6).

Paciente virtual 4D

Las técnicas digitales 4D, y la creación de un paciente virtual 4D, explotan métodos de imagen avanzados, como el haz cónico (CBCT) y el escaneo intraoral para crear modelos tridimensionales muy detallados de la cavidad oral. Estos sistemas digitales permiten la representación no solo de características anatómicas estáticas sino también de procesos dinámicos, como el movimiento de la mandíbula y las relaciones oclusales a lo largo del tiempo. La incorporación de dimensiones temporales en estas evaluaciones permite a los profesionales simular escenarios de tratamiento y predecir resultados (3)

Planificación convencional - análoga

La planificación convencional se basa en el uso de modelos físicos en yeso, registros manuales de mordida y análisis estáticos con radiografías periapicales. Aunque ha sido la base de la odontología restauradora por décadas, presenta limitaciones importantes en cuanto a precisión en reproducción de movimientos mandibulares y visualización de tejidos blandos, sin embargo, su vigencia persiste por su accesibilidad, bajo costo, y la posibilidad de ser implementada sin necesidad de grandes inversiones tecnológicas. En manos expertas, sigue ofreciendo resultados clínicos predecibles, especialmente en casos simples o en contextos de recursos limitados (7)

Herramientas digitales vs. Herramientas análogas

El uso de escáneres intraorales ha revolucionado la recolección de datos clínicos, proporcionando modelos digitales precisos con alta resolución, que reemplazan los tradicionales modelos de yeso adquiridos a través de impresiones manuales con materiales de silicona. Estos escaneos, combinados con imágenes tomográficas CBCT, permiten una superposición digital que mejora la planificación prostodóntica. Históricamente, en una técnica convencional análoga, el registro se ha desarrollado mediante herramientas manuales como articuladores mecánicos y arcos faciales, para obtener el escenario más realista para la rehabilitación del paciente durante el proceso protésico.

Estos dispositivos han intentado establecer la situación espacial tridimensional de las arcadas dentales en relación con el complejo craneofacial, así como la correcta simulación de las posiciones estáticas entre el maxilar y la mandíbula (8)

Impresión análoga vs. Impresión digital

a. *Escáneres-intraorales*

   Los escáneres intraorales permiten obtener impresiones digitales precisas sin el uso de materiales de impresión convencionales. Facilitan la adquisición de modelos tridimensionales de la cavidad oral en tiempo real, mejorando la exactitud de los registros y reduciendo el margen de error humano. Las impresiones digitales ofrecen varias ventajas, que incluyen visualización en tiempo real, retroalimentación inmediata y el potencial de una integración fluida con los sistemas de diseño y fabricación asistidos por computadora (CAD/CAM). Estos avances tienen el potencial de optimizar

los flujos de trabajo en prostodoncia, minimizar el tiempo en el sillón del paciente y mejorar la calidad general de las restauraciones (9).

b. *Impresión con cubetas y materiales de silicona*

Las técnicas de impresión convencional, a pesar de su uso generalizado, son intrínsecamente propensas a errores asociados con la distorsión del material, el diseño de la cubeta y la incomodidad del paciente.

En resumen en estudios realizados, en el que se analiza el ajuste marginal, reveló una discrepancia media de 38 µm para las impresiones digitales y de 45 µm para las impresiones convencionales. Esta diferencia en el ajuste marginal podría atribuirse a la captura precisa de datos digitales y a la mínima distorsión asociada con los escáneres intraorales, en contraste con las posibles inexactitudes introducidas durante la manipulación y el fraguado de los materiales de impresión tradicionales (9).

c. *Articulador digital vs. Articulador análogo*

La adquisición de datos para articuladores mecánicos semi-ajustables suele implicar la transferencia de la relación espacial del arco maxilar al articulador mediante un registro con arco facial, que puede realizarse mediante métodos analógicos o digitales. El enfoque analógico convencional utiliza un arco facial físico para registrar la posición del maxilar en relación con los puntos de referencia craneales, seguido del montaje del molde en el articulador. Los métodos digitales incluyen la fotografía estandarizada con gafas de referencia o el escaneo facial, que

capturan la orientación del arco maxilar y permiten el montaje virtual en articuladores digitales (10).

La precisión de estos métodos de adquisición de datos se evalúa en términos de veracidad (cercanía al valor real) y precisión (repetibilidad). Estudios in vitro recientes han comparado los registros analógicos con arco facial, la fotografía digital y el escaneo facial para la transferencia de moldes maxilares a articuladores virtuales semi-ajustables. El método fotográfico demostró una veracidad y precisión superiores en la mayoría de los parámetros, con discrepancias que oscilaban entre 137 ±44 µm y 453 ±176 µm, dependiendo de la técnica y la región anatómica evaluada (11). Los registros analógicos con arco facial mostraron una mayor veracidad en determinadas regiones (anterior, posterior derecha, posterior izquierda), mientras que la fotografía digital proporcionó una mayor veracidad en la línea media y una mayor precisión general. Los métodos de escaneo facial también dieron como resultado una alta precisión, especialmente en las regiones anteriores. En el caso de los articuladores mecánicos, la precisión del montaje y reposicionamiento de los modelos influye en el sistema de montaje. Se han evaluado las placas de montaje magnéticas y convencionales atornillables, con desplazamientos lineales verticales generalmente por debajo del umbral de detectabilidad clínica (tan bajos como 1,5 ±0,9 µm para algunos sistemas), mientras que los desplazamientos anteroposteriores y mediolaterales pueden ser mayores, pero aún dentro de los límites clínicamente aceptables (12). En algunos

sistemas articuladores pueden producirse errores sistemáticos en la orientación del plano oclusal, con desviaciones de hasta 28° en los diseños más antiguos, mientras que los sistemas mejorados muestran errores aleatorios más pequeños (13) En entornos clínicos, la inclinación sagital del plano oclusal transferida a articuladores semi-ajustables utilizando registros de arco facial coincide estrechamente con las mediciones cefalométricas, sin diferencias estadísticamente significativas en comparación con los articuladores totalmente ajustables en la mayoría de los casos (14). Sin embargo, la reproducibilidad de los contactos dentales excéntricos es mayor en el contacto inicial y disminuye durante los movimientos excéntricos, lo que indica que, si bien el montaje inicial es fiable, puede ser necesario realizar ajustes oclusales después de la entrega de la prótesis (15)

En resumen, tanto los métodos analógicos como los digitales de adquisición de datos para articuladores mecánicos semiajustables pueden alcanzar una alta precisión, y la fotografía digital y el escaneo facial ofrecen una veracidad y precisión comparables o superiores a los registros faciales convencionales en muchos escenarios. La elección del sistema y la técnica de montaje puede influir en la precisión de la orientación del molde y las relaciones oclusales, pero la mayoría de los sistemas modernos proporcionan resultados dentro de los umbrales clínicamente aceptables.

d. CBCT vs. Imágenes 2D

La tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) es una tecnología fundamental en el desarrollo del paciente digital virtual en prostodoncia,

particularmente cuando se integra en flujos de trabajo de cuatro dimensiones (4D) que incorporan movimiento dinámico de la mandíbula y cambios basados en el tiempo. CBCT ofrece varias ventajas distintas:

- *Visualización anatómica tridimensional:*

  CBCT proporciona imágenes volumétricas de alta resolución de estructuras craneofaciales, lo que permite una evaluación precisa de la calidad ósea, las dimensiones y la proximidad a las características anatómicas vitales. Esto es esencial para una planificación precisa de los implantes, la reducción de riesgos y la prevención de complicaciones quirúrgicas (16)

- *Modelado virtual de pacientes:*

  Los datos CBCT se pueden combinar con escaneos intraorales y extraorales, así como con registros de movimiento de la mandíbula, para crear modelos digitales completos y específicos para el paciente. Estos modelos facilitan la simulación de restauraciones protésicas en armonía con los movimientos funcionales del paciente, apoyando el concepto de un "paciente 4D virtual" que incorpora tanto anatomía estática como función dinámica (17)

- *Mejora de la planificación del tratamiento y precisión quirúrgica:*

  Las capacidades transversales y transaxiales completas de CBCT permiten una selección más precisa de la longitud y la posición del implante, lo que reduce la necesidad de aumento de la cresta y minimiza el riesgo de roscas de implantes expuestas. Esto conduce a mejores resultados clínicos y una rehabilitación protésica más predecible (17)

- *Integración diseño (CAD/CAM) y cirugía guiada por computadora:*

  CBCT sirve como la principal herramienta de diagnóstico para los flujos de trabajo digitales, lo que permite la planificación virtual de la colocación de implantes y la fabricación de prótesis sin la necesidad de impresiones o moldes convencionales. Esto agiliza el proceso y mejora la precisión de las prótesis provisionales y definitivas (17)

- *Alineación de datos y optimización del flujo de trabajo:*

  En casos complejos, como la rehabilitación completa del arco, CBCT se puede utilizar tanto antes como después de la operación para alinear los diseños protésicos con la situación clínica, asegurando un registro oclusal preciso y un posicionamiento óptimo de los dientes. Este enfoque mejora la transferencia de la planificación virtual al entorno intraoral y reduce la necesidad de ajustes intraoperatorios (17)

- *Facilitación de la colaboración multidisciplinaria:*

  El modelo digital de paciente generado a partir de datos CBCT mejora la comunicación entre el equipo de prostodoncia, lo que permite la evaluación de múltiples escenarios de tratamiento y la selección del plan óptimo antes de la intervención clínica. CBCT es parte integral de la creación y utilización del paciente digital virtual 4D en prostodoncia, proporcionando los datos anatómicos y funcionales necesarios para una planificación y ejecución de tratamientos precisos, individualizados y dinámicos (17) Estos datos 3D son superiores a la radiografía bidimensional convencional, que a menudo no logra capturar el alcance total de las variaciones anatómicas y puede

llevar a una subestimación del hueso disponible o a una identificación errónea de estructuras vitales (18)

En resumen el CBCT mejora la planificación del tratamiento protésico al proporcionar información anatómica 3D completa, mejorar la precisión del diagnóstico, permitir una planificación quirúrgica y restauradora precisa y respaldar los flujos de trabajo digitales para obtener resultados clínicos predecibles. Su uso debe guiarse por el principio de justificación, asegurando que la información diagnóstica adicional tenga un impacto significativo en la atención y la seguridad del paciente.

Software CAD-CAM

Estos programas permiten el diseño asistido por computadora y la manufactura de restauraciones dentales (crowns, bridges, onlays). Su integración con el paciente virtual 4D permite diseñar restauraciones adaptadas a la dinámica funcional del paciente (2).

Captura Dinámica Mandibular

Las principales tecnologías y dispositivos utilizados para el seguimiento de la mandíbula en rehabilitación oral incluyen sistemas de rastreo óptico, magnetometría, dispositivos ultrasónicos, análisis oclusal computarizado y métodos basados en sensores intraorales. Los sistemas de rastreo óptico permiten registrar la relación maxilo-mandibular y los movimientos mandibulares (incluyendo movimientos excéntricos y patrones de masticación) de manera digital, integrando estos datos en flujos de trabajo virtuales para el diseño y ajuste de prótesis. Estos sistemas suelen emplear cámaras y marcadores ópticos adheridos a férulas o dispositivos intraorales para capturar el movimiento en tiempo real.

Mediante sistemas de registro de movimiento, se pueden registrar los movimientos mandibulares en tiempo real. Esta información se integra al modelo virtual del paciente, permitiendo simular la oclusión dinámica (19)

Análisis Oclusal Computarizado vs. Método convencional papel de articular Dispositivos como T-Scan ofrecen análisis detallados de los contactos oclusales, permitiendo una evaluación objetiva de la distribución de fuerzas durante la masticación. El análisis oclusal computarizado complementa los sistemas de captura dinámica mandibular, al registrar contactos oclusales y la distribución de fuerzas durante la función, permitiendo una evaluación secuencial y cuantitativa de la oclusión. La integración de escáneres intraorales con estos sistemas posibilita la creación de un paciente virtual dinámico, facilitando la planificación y simulación de procedimientos de rehabilitación oral (20)

Las diferencias principales entre el análisis oclusal computarizado y el método convencional con papel de articular se centran en la precisión, la reproducibilidad, la capacidad de cuantificación y la interpretación clínica.

1. *Precisión y cuantificación*: Los sistemas computarizados, como T-Scan y otros dispositivos digitales, permiten una cuantificación objetiva de los contactos oclusales, incluyendo la fuerza, la distribución y la secuencia temporal de los contactos. Esto contrasta con el papel de articular, que solo proporciona información visual sobre la localización y el tamaño relativo de los contactos, sin datos cuantitativos sobre la fuerza o el tiempo de contacto (21) (22) (23)
2. *Reproducibilidad y fiabilidad*: Los métodos digitales tienden a mostrar una reproducibilidad moderada a alta en la localización de los contactos, aunque

pueden variar según el sistema utilizado. El papel de articular, especialmente en grosores de 40 µm, ha demostrado una alta fiabilidad interobservador, pero puede sobreestimar el número de contactos, especialmente en áreas posteriores. Los estudios han mostrado que la concordancia entre métodos digitales y convencionales es moderada, y ninguno se considera estándar de referencia absoluto (21) (22) (23)

3. *Sensibilidad y especificidad*: Los sistemas digitales pueden alcanzar una sensibilidad y especificidad clínica suficiente para identificar contactos oclusales, aunque la precisión puede disminuir en dientes adyacentes o en la intensidad de los contactos. El papel de articular puede detectar más contactos, pero no discrimina la intensidad ni la secuencia de los mismos (21) (22) (23)
4. *Interpretación clínica*: El método convencional con papel de articular depende de la interpretación visual y subjetiva del clínico, lo que puede llevar a variabilidad en los resultados. Los sistemas computarizados ofrecen datos objetivos y reproducibles, pero requieren entrenamiento y pueden ser más costosos y menos accesibles en la práctica diaria (21) (22) (23)
5. *Limitaciones:* Ningún método es completamente ideal. El papel de articular puede verse afectado por la humedad, la presión aplicada y el grosor del material, mientras que los sistemas digitales pueden tener limitaciones en la detección de contactos en áreas posteriores y requieren calibración y mantenimiento (21) (22) (23)

En resumen, el análisis oclusal computarizado aporta ventajas en la cuantificación y objetividad de los datos, mientras que el método convencional con papel de articular

sigue siendo suficiente para la mayoría de los propósitos clínicos, aunque menos preciso en la cuantificación de fuerzas y secuencias de contacto. La literatura actual recomienda considerar la combinación de ambos métodos para lograr una evaluación oclusal más completa y equilibrada.

Escáneres faciales vs. Fotografía 2D

En una técnica convencional el clínico realiza un registro fotográfico en plano 2D que permiten captar expresiones faciales estáticas mientras que una técnica digital 4D permite el registro en 3D optimizando la adquisición de detalles importantes para un análisis estético más completo. Estas imágenes pueden integrarse a software de planificación para mejorar la personalización (Abduo & Elseyoufi, 2018).

a. *Escáneres faciales*

Los escáneres faciales desempeñan un papel cada vez más relevante en la rehabilitación oral al permitir la integración precisa de datos extraorales e intraorales en flujos de trabajo digitales. Su principal aporte es la captura tridimensional de la morfología facial, lo que posibilita la creación de un “paciente virtual” para la planificación y ejecución de tratamientos protésicos con un enfoque estético y funcional individualizado. La literatura demuestra que la combinación de escaneos faciales y escaneos intraorales permite alinear digitalmente los modelos dentales con la anatomía facial, facilitando la transferencia virtual de referencias anatómicas clave (como la línea media, plano oclusal y sonrisa) y mejorando la predictibilidad en el diseño de prótesis, especialmente en rehabilitaciones complejas y de arco completo. Esta integración digital permite realizar simulaciones

preoperatorias, planificar la posición de los dientes en relación con los tejidos blandos y la expresión facial, y optimizar tanto la función como la estética de las restauraciones. En casos de defectos maxilofaciales, la integración de escaneos faciales y técnicas de estereofotogrametría ha permitido desarrollar flujos de trabajo digitales económicos y precisos para el diseño y fabricación de prótesis personalizadas.

Diversos factores pueden disminuir la precisión de los escáneres faciales en el contexto clínico y odontológico. Entre los más relevantes se encuentran:

- *Movimiento del paciente:* Los movimientos involuntarios o la incapacidad para mantener una expresión facial neutra durante el escaneo son una fuente significativa de error, generando distorsiones en la reconstrucción tridimensional.
- *Algoritmo de alineación y localización anatómica:* La precisión del escaneo varía según el algoritmo de alineación utilizado (por ejemplo, best fit basado en referencias vs. best fit basado en puntos anatómicos) y la región facial escaneada. Las áreas centrales de la cara suelen mostrar mayor precisión que las zonas laterales o periféricas, como el trago o la frente.
- *Tipo de escáner y tecnología empleada:* Los sistemas profesionales de escaneo facial (por ejemplo, estereofotogrametría, luz estructurada, escáneres láser) presentan mayor precisión que los dispositivos móviles o aplicaciones basadas en sensores de smartphones, que pueden mostrar desviaciones mayores, especialmente en regiones como la punta nasal o los labios.

En resumen, los escáneres faciales son fundamentales en la rehabilitación oral moderna, ya que permiten una planificación digital centrada en el paciente, pudiendo mejoran la predictibilidad y la estética de las restauraciones. Optimizan la comunicación clínica y la satisfacción del paciente, todo ello respaldado por evidencia de alta fiabilidad y reproducibilidad en la literatura reciente.

Resultados

Se realizó una comparación sistemática de la planificación con paciente virtual 4D versus la planificación convencional en rehabilitación oral. Se categorizaron los resultados en tres grandes áreas: precisión diagnóstica, resultados estéticos/funcionales, y barreras clínicas/tecnológicas.

1. *Precisión diagnóstica y predictibilidad clínica*

   Los estudios muestran que la planificación 4D mejora significativamente la capacidad de diagnóstico gracias a la integración de imágenes dinámicas, registros funcionales y modelos anatómicos precisos (Joda et al., 2019; Pauwels et al., 2021). La incorporación de datos cinemáticos mandibulares ha permitido predecir con mayor exactitud las interferencias oclusales y las limitaciones biomecánicas antes de ejecutar el tratamiento (Gjelvold et al., 2016 D'Addazio).

   En comparación, la planificación convencional presenta una limitación en la detección temprana de disfunciones articulares, y no permite simular con precisión la dinámica funcional (Zimmermann et al., 2015).

2. *Resultados estéticos y funcionales*

   Los tratamientos planificados con herramientas 4D presentaron una tasa de éxito funcional y estético más elevada, particularmente en rehabilitaciones extensas y

casos multidisciplinarios (Coachman et al., 2017; Mangano et al., 2021). Esto se debe a que la integración entre DDS, CBCT y análisis cinemático permite obtener una rehabilitación personalizada basada en la fisiología del paciente, reduciendo ajustes postoperatorios (Rangel et al., 2020).

En contraste, la planificación convencional depende de la experiencia del clínico y puede requerir múltiples pruebas o modificaciones posteriores para alcanzar un resultado óptimo (Garber et al., 2020).

3. *Tiempo clínico y eficiencia operativa*

Diversos estudios coinciden en que la planificación digital 4D acorta el tiempo clínico global (diagnóstico + ejecución), aunque requiere más tiempo de preparación inicial (Mangano et al., 2021; Ameen et al., 2022). Esto se traduce en mayor eficiencia operativa a largo plazo y menor número de citas (Joda et al., 2019).

La planificación convencional, si bien puede iniciarse más rápidamente, tiende a generar mayores tiempos operatorios durante la ejecución y ajustes (Scarfe & Farman, 2008).

4. *Costos y accesibilidad*

Los costos asociados al paciente virtual 4D son notablemente más altos por el software, hardware y capacitación requeridos (Abduo & Elseyoufi, 2018). Además, no todos los entornos clínicos cuentan con los recursos necesarios para su implementación.

La planificación convencional, en cambio, presenta una accesibilidad global mayor y continúa siendo una opción viable, especialmente en zonas con menor acceso a tecnología (Garber et al., 2020).

5. *Comunicación interdisciplinaria y aceptación del paciente*

   Los modelos 4D permiten una comunicación visual clara con otros especialistas y con el paciente, lo que mejora la aceptación del plan de tratamiento (Coachman et al., 2017). La posibilidad de visualizar el resultado estético final antes de iniciar el tratamiento aumenta la motivación y reduce la ansiedad del paciente (Kapila et al., 2021).

   Por otro lado, la planificación convencional suele ser menos interactiva y depende más del lenguaje técnico, lo que puede dificultar la comprensión del paciente (Rangel et al., 2020).

Discusión

La transición de una odontología convencional hacia una digitalizada ha generado importantes avances en términos de diagnóstico, planificación y ejecución clínica. La presente revisión de literatura muestra que el uso de pacientes virtuales en 4D representa una evolución significativa en la planificación de tratamientos complejos de rehabilitación oral presentando una mayor predictibilidad, reproductibilidad y eficiencia en tiempos de trabajo, sin embargo, la literatura disponible no sugiere una superioridad marcada y unánime en precisión cuando se la compara con las técnicas análogas.

La literatura disponible evidencia que la planificación con paciente virtual 4D ofrece una mayor adquisición de datos diagnósticos, gracias a la integración de imágenes CBCT, escaneos intraorales y extraorales, como lo es el escaneo facial y registro de recorrido

mandibular en tiempo real, brindando un análisis funcional dinámico (24). Esta tecnología posibilita la evaluación de la relación oclusal en movimiento, factor clave en rehabilitaciones extensas. Además, la integración de herramientas como el diseño digital de sonrisa (DDS) y la inteligencia artificial (IA) contribuye a optimizar los resultados estéticos desde un enfoque personalizado (25).

En contraste, la planificación convencional presenta limitaciones estructurales al no considerar factores dinámicos ni visualización tridimensional en tiempo real, lo que puede derivar en diagnósticos incompletos o tratamientos menos predecibles (26)

a. *Consideraciones operativas y económicas*

   Pese a sus ventajas, en eficiencia y optimización de tiempos de trabajo, la implementación de la planificación digital 4D no está exenta de desafíos. El costo inicial elevado y la necesidad de formación especializada constituyen barreras frecuentes (27). Algunos entornos clínicos, enfrentan dificultades para acceder a estos recursos, lo que perpetúa una brecha tecnológica. Por otro lado, la planificación convencional continúa siendo una alternativa válida y accesible, que sigue presentando resultados funcionales óptimos, especialmente cuando se cuenta con experiencia clínica sólida (Garber et al., 2020).

b. *Rol del paciente y la comunicación interdisciplinaria*

   Uno de los aportes más relevantes del paciente virtual 4D es su utilidad como herramienta de comunicación visual. El paciente puede visualizar su tratamiento y resultado estético previsto, lo cual fortalece su comprensión, compromiso, genera confianza y facilita la aceptación del plan propuesto. Del mismo modo, la planificación digital mejora el flujo de información entre especialistas y técnicos

dentales, promoviendo una atención más coordinada. En el modelo convencional, dicha interacción está limitada al intercambio verbal o mediante modelos físicos, lo que puede generar errores interpretativos o limitaciones en la planificación conjunta (Kennet, Patrik & Falkner, Soren., 2025

Tabla Comparativa: Planificación con Paciente Virtual 4D vs. Planificación Convencional en Rehabilitación Oral (28) (2)

Criterio de Comparación	**Paciente Virtual 4D**	**Planificación Convencional**
Visualización anatómica	Imágenes 3D y 4D dinámicas (CBCT, escáner, cinemática mandibular)	Modelos físicos, radiografías 2D
Consideración del tiempo/movimiento	Incluye análisis funcional y dinámico del recorrido mandibular en tiempo real (4D)	No considera movimientos en tiempo real y permite reproducir de forma manual y

		limitada el recorrido mandibular del paciente
Precisión diagnóstica	Alta precisión por integración de datos multidimensionales	Precisión limitada por subjetividad del clínico y registros analógicos
Interdisciplinariedad	Facilita integración entre especialistas con planificación colaborativa digital	Interacción limitada, basada en registros físicos
Comunicación con el paciente	Visualización del tratamiento y resultado final, mayor aceptación	Explicación verbal, uso de modelos físicos
Resultados estéticos/funcionales	Altamente predecibles y personalizados	Dependientes de la experiencia del profesional y baja reproducibilidad
Tiempo de planificación	Más rápida una vez dominada la tecnología	Proceso más lento y manual
Curva de aprendizaje	Alta: requiere formación en software especializado	Baja: se basa en conocimiento clínico tradicional

Accesibilidad	Limitada en entornos con escasa tecnología	Alta en la mayoría de los contextos clínicos
Costo inicial	Elevado (hardware, software, licencias)	Bajo/moderado

Tabla Comparativa: Posibles errores durante la obtención de información

Aspecto	**Técnica Convencional Análoga**	**Técnica Digital Virtual 4D**
Precisión Dimensional	Puede verse afectada por distorsiones del material	Alta precisión, pero susceptible a errores de escaneo
Captura de Tejidos Blandos	Buena en manos experimentadas	Dificultad con tejidos móviles o húmedos
Tiempo de Procesamiento	Mayor, debido a múltiples pasos	Menor, con procesamiento en tiempo real

Errores Comunes	Burbujas, distorsiones, mala reproducción de márgenes	Posicionamiento del escáner, errores de stitching

Ambas técnicas presentan potenciales fuentes de error que pueden afectar la precisión y predictibilidad del diagnóstico oclusal y la planificación del tratamiento. La técnica convencional análoga depende en gran medida de la habilidad del operador y es susceptible a errores físicos. Por otro lado, la técnica digital virtual 4D ofrece ventajas en términos de eficiencia y precisión, pero requiere una comprensión adecuada del manejo del escáner y de las limitaciones tecnológicas.

La elección entre ambas técnicas debe basarse en las necesidades específicas del caso clínico, la experiencia del profesional y los recursos disponibles.

Conclusiones

La hipótesis propuesta para esta revisión de literatura se rechaza de manera parcial, ya que según la literatura disponible utilizada, indica que la técnica de paciente virtual 4D permite una mejor predictibilidad funcional y estética como resultado de modelos que integran movimientos reales del paciente, lo que ofrece una representación más fiel y útil del comportamiento fisiológico durante la planificación del tratamiento, sin embargo requiere de estudios adicionales con muestras más amplias y mayor robustez metodológica para consolidar su superioridad en precisión de resultados funcionales, frente a los estándares actuales.

La integración del paciente virtual 4D en la planificación de tratamientos en rehabilitación oral representa un avance significativo respecto a la planificación convencional. Esta

tecnología permite mayor precisión diagnóstica, predicción estética y funcional, y una comunicación más eficiente con el paciente y el equipo interdisciplinario. Sin embargo, su implementación aún enfrenta barreras económicas, técnicas y formativas que limitan su accesibilidad en algunos contextos clínicos. Por otro lado, la planificación convencional sigue siendo útil, especialmente en manos experimentadas y en contextos con recursos limitados, a pesar de representar en muchos casos mayor tiempo de procesamientos y de trabajo. Su precisión está directamente relaciona a la experticia del clínico y a la intervención y manipulación adecuada durante la fase de obtención de información. Presenta mayor limitación en cuanto a obtención y registro de ayudas diagnósticas dinámicas y en tiempo real, que proporcionan información relevante para la etapa de planificación estéticamente guiada

La decisión sobre qué metodología emplear debe ser individualizada, considerando las necesidades del paciente, la infraestructura disponible y las competencias del equipo clínico. La tendencia futura apunta hacia una adopción progresiva de la planificación digital avanzada, impulsada por el desarrollo de inteligencia artificial, integración de sistemas, y reducción de costos tecnológicos.

No se puede afirmar la superioridad clínica absoluta de ninguna de las técnicas (técnica convencional análoga o técnica digital 4D) y su influencia para mejorar la precisión de las restauraciones protésicas, sin embargo, si se puede considerar una adquisición de información más completa en la técnica digital.

Referencias bibliográficas

1. Bernauer SA, Zitzmann NU, Joda T. The Complete Digital Workflow in Fixed Prosthodontics Updated: A Systematic Review. Healthc Basel Switz. 2023 Feb 25;11(5):679.

2. Mangano F. Digital dentistry. J Dent. 2021 June 1;109:103693.

3. Yuan Y, Liu Q, Yang S, He W. Four-Dimensional Superimposition Techniques to Compose Dental Dynamic Virtual Patients: A Systematic Review. J Funct Biomater. 2023 Jan 6;14(1):33.

4. Revilla-León M, Zeitler JM, Kois JC. Digital maxillomandibular relationship and mandibular motion recording by using an optical jaw tracking system to acquire a dynamic virtual patient. J Prosthet Dent. 2024 July 1;132(1):14–9.

5. Hämmerle CHF, Cordaro L, van Assche N, Benic GI, Bornstein M, Gamper F, et al. Digital technologies to support planning, treatment, and fabrication processes and outcome assessments in implant dentistry. Summary and consensus statements. The 4th EAO consensus conference 2015. Clin Oral Implants Res. 2015 Sept;26 Suppl 11:97–101.

6. Lepidi L, Kim BC, Giberti L, Suriano C, Li J, Grande F. The 4D virtual patient: A proof of concept in digital dentistry. J Prosthet Dent [Internet]. 2024 Apr 13 [cited 2025 Aug 18];0(0). Available from: https://www.thejpd.org/article/S0022-3913(24)00194-X/fulltext

7. Chisnoiu AM, Staicu AC, Kui A, Chisnoiu RM, Iacob S, Fluerașu M, et al. Smile Design and Treatment Planning—Conventional versus Digital—A Pilot Study. J Pers Med. 2023 June 21;13(7):1028.

8. Pradíes. Shifting from the “Analogic Virtual Patient” to the “Digital Virtual Patient” in Prosthodontics. A Scoping Review. Eur J Prosthodont Restor Dent. 2023 Mar 8;1.

9. Raja SR, Dutta A, Jain SK, Dewan H, Thomas V, Jose AT. In Vitro Comparative Analysis of Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics. J Pharm Bioallied Sci. 2024 July;16(Suppl 3):S2700–2.

10. Revilla-León M, Zeitler JM, Strommer S, Barmak AB, Kois JC. Accuracy comparison of the maxillary cast transfer into the virtual semi-adjustable articulator between an analog facebow record and a digital photography technique. J Prosthet Dent [Internet]. 2024 Apr 12 [cited 2025 Aug 18];0(0). Available from: https://www.thejpd.org/article/S0022-3913(24)00188-4/fulltext

11. Revilla-León M, Zeitler JM, Barmak AB, Kois JC. Accuracy of the maxillary cast transfer into the virtual semi-adjustable articulator by using analog and digital facebow record methods. J Prosthet Dent. 2024 Apr;S002239132400204X.

12. Tan MY, Ung JY, Low AHY, Tan EE, Tan KBC. Three-dimensional repositioning accuracy of semiadjustable articulator cast mounting systems. J Prosthet Dent. 2014 Oct;112(4):932–41.

13. Paul PE, Barbenel JC, Walker FS, Khambay BS, Moos KF, Ayoub AF. Evaluation of an improved orthognathic articulator system: 1. Accuracy of cast orientation. Int J Oral Maxillofac Surg. 2012 Feb;41(2):150–4.

14. Palaskar JN, Joshi N, Gullapalli P, Shah P. Comparative evaluation of sagittal inclination of the occlusal plane with Frankfort horizontal plane in facebow transfers to semiadjustable and fully adjustable articulators. J Prosthet Dent. 2020 Feb;123(2):299–304.

15. Jeong MY, Kim MJ, Lim YJ, Kwon HB. Evaluation of eccentric tooth contact on a semi-adjustable articulator by using an occlusal analysis system. J Prosthet Dent. 2024 Jan;131(1):34–41.

16. Omami G, Al Yafi F. Should Cone Beam Computed Tomography Be Routinely Obtained in Implant Planning? Dent Clin North Am. 2019 July 1;63(3):363–79.

17. Hamilton A, Akhondi S, Pala K, Luz D, Gallucci GO. Using postoperative CBCT to enhance preoperative planning integration in complete arch implant rehabilitation. J Prosthet Dent. 2025 June 3;S0022-3913(25)00442-1.

18. Omami G, Al Yafi F. Should Cone Beam Computed Tomography Be Routinely Obtained in Implant Planning? Dent Clin North Am. 2019 July;63(3):363–79.

19. Revilla-León M, Zeitler JM, Kois JC. Digital maxillomandibular relationship and mandibular motion recording by using an optical jaw tracking system to acquire a dynamic virtual patient. J Prosthet Dent. 2024 July;132(1):14–9.

20. Dias RAB, Rodrigues MJP, Messias AL, Guerra FADA, Manfredini D. Comparison between conventional and computerised methods in the assessment of an occlusal scheme. J Oral Rehabil. 2020 Feb;47(2):221–8.

21. Dias RAB, Rodrigues MJP, Messias AL, Guerra FADA, Manfredini D. Comparison between conventional and computerised methods in the assessment of an occlusal scheme. J Oral Rehabil. 2020 Feb;47(2):221–8.

22. Rovira-Lastra B, Khoury-Ribas L, Flores-Orozco EI, Ayuso-Montero R, Chaurasia A, Martinez-Gomis J. Accuracy of digital and conventional systems in locating occlusal contacts: A clinical study. J Prosthet Dent. 2024 July;132(1):115–22.

23. Biadsee A, Biadsee A, Khalifa A, Mtanis T, Ormianer Z. Clinical evaluation of the agreement between virtual and clinical occlusal registrations: A comparative clinical study. J Prosthet Dent. 2025 May 1;133(5):1250–9.

24. Gawali N, Shah PP, Gowdar IM, Bhavsar KA, Giri D, Laddha R. The Evolution of Digital Dentistry: A Comprehensive Review. J Pharm Bioallied Sci. 2024 July;16(Suppl 3):S1920–2.

25. Jreige CS, Kimura RN, Segundo ÂRTC, Coachman C, Sesma N. Esthetic treatment planning with digital animation of the smile dynamics: A technique to create a 4-dimensional virtual patient. J Prosthet Dent. 2022 Aug 1;128(2):130–8.

26. Abduo J. Geometrical effects of conventional and digital prosthodontic planning wax-ups on lateral occlusal contact number, contact area, and steepness. J Oral Sci. 2017;59(3):431–8.

27. Pradíes G, García-Naranjo AM, Martínez-Rus F, Martínez de Fuentes R, Romeo-Rubio M. EPA Consensus Project Paper: Shifting from the “Analogic Virtual Patient” to the “Digital Virtual Patient” in Prosthodontics. A Scoping Review. Eur J Prosthodont Restor Dent. 2023 Mar 8;

28. Mahato M, Hota S, Jain A, Dutta D, Bhushan P, Raut A. Comparison of Conventional and Digital Workflows in the Fabrication of Fixed Prostheses: A Systematic Review. Cureus. 2024 June;16(6):e61764.