

**REPÚBLICA DOMINICANA
UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA DE ODONTOLOGÍA**



“Uso de la tecnología CAD/CAM en la fabricación de prótesis dentales fijas:

Ventajas y desafíos”

Estudiantes

Fara Sierra 22-0497

Lara Sierra 22-0496

Los conceptos emitidos en el presente trabajo final son de la exclusiva responsabilidad de los estudiantes

Docente especializado

Dra. Yumaysla Mariano Hernández

Docente Titular

Dra. Helen Josefina Rivera Estaba

Santo Domingo, DN.

05 de agosto del 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con amor y profundo agradecimiento a mis padres, Manuel Emil Sierra Recio y María Teresa Ferreras Matos, por ser mi guía, mi fuerza y mi mayor inspiración. A mis hermanos, Eimy Sierra, Mario Sierra, Fara Sierra y Manuel Sierra, quienes han estado presentes a lo largo de este camino. En especial a Eimy, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y por ser mi mano derecha en los momentos más importantes. Este logro es también de ustedes, los llevo conmigo siempre.

Lara Sierra Ferreras

Dedico este trabajo a mis padres, María Teresa Ferreras Matos y Manuel Emil Sierras Recio. A ti, mamá, por ser mi inspiración más profunda. Por tu ejemplo como mujer, como profesional y como madre. Por mostrarme con tu vida que la pasión, el esfuerzo y la entrega en esta hermosa profesión de la odontología son el camino para lograr grandes cosas. A ti, papá, por ser siempre mi soporte, por tu disposición incondicional y tu fe en mí. Gracias por enseñarme con tu ejemplo a ser disciplinada, determinada y constante. Este logro es también suyo.

Fara Sierra Ferreras

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado la salud, la sabiduría y la fortaleza para llegar hasta aquí. A mi familia, por su apoyo constante, por cada palabra de aliento, por cada gesto de amor y por ser mi refugio en todo momento.

Mi agradecimiento especial es para mis padres Manuel Sierra y María Teresa Ferreras Matos, por ser mi ejemplo de entrega, perseverancia y amor. Gracias por ser mi mayor inspiración y sostén. A mi hermana Eimy Teresa Sierra Ferreras, por estar ahí en cada paso de este camino, por su paciencia, por su ayuda y por enseñarme tanto con su ejemplo y generosidad. A mis hermanos Fara Sierra, Manuel Sierra y Mario Sierra, gracias por estar presentes en mi vida y acompañarme con amor. Con especial cariño agradezco a mi prima Isaree Pérez Ferreras, quien fue un gran apoyo a lo largo de la carrera. Gracias por tu tiempo, tu ayuda desinteresada y por compartir conmigo tus conocimientos y tu ánimo en momentos clave.

También deseo agradecer con mucho cariño a mis compañeros de clase y amigas por su compañía, sus consejos y por ser parte fundamental de este proceso. Gracias por creer en mí, por motivarme y por compartir conmigo tantas experiencias valiosas.

A todos los que de una forma u otra aportaron a la realización de este trabajo, los docentes y doctores que me permitieron llegar a este punto, mi gratitud eterna. Gracias por ayudarme a llegar hasta aquí.

Lara Sierra Ferreras

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza emocional, física y mental para completar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres, María Teresa Ferreras Matos, doctora en odontología, y Manuel Emil Sierras Recio, ingeniero, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, disciplina y entrega. A mi hermana mayor, Emy Teresa Sierra Ferreras, odontóloga, por ser una guía incansable durante esta carrera, por cada consejo y por compartir su conocimiento en cada paso del camino.

A mi hermana, mi soporte, Lara Sierra Ferreras, con quien compartí cada etapa de esta carrera. Gracias por ser mi compañera, mi apoyo y mi espejo en este proceso. Esta etapa no habría sido igual sin ti.

A mi prima, Isaree Pérez Ferreras, odontóloga, por estar siempre dispuesta a ayudarme sin condiciones y con la mejor disposición. Siempre fuiste un apoyo fundamental en mi formación, ofreciéndome tu ayuda cuando más la necesitaba. Gracias por ser una parte tan importante en mi carrera.

A mis hermanos, Mario Emil Sierra Ferreras y Manuel Emil Sierra Ferreras, por su constante disposición, por estar atentos a todo lo que necesitaba y por ser un soporte firme y silencioso en mi día a día.

A la Universidad Iberoamericana (UNIBE), mi alma mater, por ser el espacio donde me formé profesionalmente. A todos los docentes que, desde su estilo único, aportaron a mi desarrollo como futura odontóloga. Y a los grandes amigos que conocí en este camino, compañeros de universidad que se convirtieron en familia y que me acompañaron a lo largo de este proceso. Hoy me los llevo en el corazón.

Gracias por acompañarme en este viaje que marca el inicio de todo lo que aún está por venir.

“Di lo mejor de mí en cada paso, y hoy ver que cada pequeño esfuerzo valió la pena me llena de orgullo. Siempre he sido fiel creyente de que dar lo mejor de uno, aunque cueste, es el único camino hacia la meta.”

Fara Sierra Ferreras

RESUMEN

La presente revisión de literatura analiza el uso de la tecnología CAD/CAM en la fabricación de prótesis dentales fijas, destacando sus ventajas y desafíos en la práctica odontológica moderna. El estudio evidencia que esta tecnología ha revolucionado la odontología restauradora al permitir la elaboración de restauraciones con alta precisión, eficiencia y estética, reduciendo los tiempos clínicos y mejorando la experiencia del paciente. Entre sus principales beneficios se encuentran la personalización de los tratamientos, el uso de materiales avanzados como la zirconia y el disilicato de litio, y la integración con flujos digitales como el escaneo intraoral y la impresión 3D. Sin embargo, también se identifican desafíos significativos, como los altos costos de adquisición y mantenimiento de equipos, la necesidad de capacitación especializada y la desigualdad en el acceso a esta tecnología en contextos con recursos limitados. Asimismo, se abordan aspectos éticos relacionados con la privacidad de los datos digitales del paciente y la percepción de deshumanización del tratamiento. La metodología consistió en una revisión de literatura científica de los últimos cinco años, incluyendo artículos en inglés y español que evaluaron la efectividad, materiales, percepción profesional y limitaciones económicas del CAD/CAM. Se concluye que, si bien esta tecnología representa un avance sustancial en la odontología restauradora, su implementación efectiva requiere estrategias de formación, inversión y adaptación ética, con miras a una integración equitativa y sostenible en la práctica clínica.

Palabras clave: CAD/CAM, prótesis dentales fijas, odontología digital

ABSTRACT

This literature review analyzes the use of CAD/CAM technology in the fabrication of fixed dental prostheses, highlighting its advantages and challenges in modern dental practice. The study shows that this technology has revolutionized restorative dentistry by enabling the creation of restorations with high precision, efficiency, and aesthetics, reducing clinical times and improving patient experience. Key benefits include treatment customization, the use of advanced materials such as zirconia and lithium disilicate, and integration with digital workflows like intraoral scanning and 3D printing. However, significant challenges remain, such as high equipment costs, the need for specialized training, and unequal access to technology in low-resource settings. Ethical concerns are also discussed, particularly regarding patient data privacy and the perception of treatment dehumanization. The methodology was based on a scientific literature review from the past five years, including English and Spanish articles evaluating CAD/CAM effectiveness, materials, professional perception, and economic limitations. The study concludes that while CAD/CAM technology represents a substantial advancement in restorative dentistry, its successful implementation requires education strategies, financial investment, and ethical adaptation to ensure equitable and sustainable integration into clinical practice.

Key words: CAD/CAM, fixed dental prostheses, digital dentistry

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. OBJETIVOS	15
3.1 GENERAL	15
3.2 ESPECÍFICOS	15
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	16
4.1.1. Avances tecnológicos y expansión del CAD/CAM	18
4.1.2 Impacto en la odontología restauradora	19
4.2 MARCO CONCEPTUAL	21
4.2.1 Tecnología CAD/CAM	21
4.2.2. CAM (Manufactura Asistida por Computadora)	22
4.2.3. CAD (Diseño Asistido por Computadora)	22
4.2.4. Escáner intraoral	22
4.2.5. Impresión 3D	22
4.2.6. Precisión marginal	22
4.2.7. Odontología digital	23

4.2.8. Inteligencia artificial (IA) en odontología	23
4.3 REVISIÓN DE LA LITERATURA	23
4.3.1 Componentes de los sistemas CAD/CAM en odontología	23
4.3.2 Software CAD: Diseño asistido por computadora	24
4.3.3 Hardware CAM: Fabricación asistida por computadora	24
4.3.4 Tipos de Máquinas CAM: Fresadoras y sistemas de impresión 3D	24
4.3.5 Escáneres digitales y su función en el sistema CAD/CAM	26
4.3.6 Restauraciones dentales: Coronas, puentes y carillas	27
4.3.7 La eficiencia y exactitud de los sistemas CAD/CAM en la odontología	28
4.3.7.1 Personalización en el diseño y fabricación de restauraciones	31
4.3.7.2 Materiales avanzados para restauraciones dentales	32
4.3.7.3. Mejoras en la eficiencia del proceso clínico	35
4.3.7.4 Avances en la integración de inteligencia artificial (IA)	36
4.3.8 Desafíos asociados a la implementación de los sistemas CAD/CAM	37
4.3.8.1 Barreras tecnológicas	37
4.3.8.2 Limitaciones en la precisión: Desajustes y errores en la creación de restauraciones	38
4.3.8.3 Desafíos económicos	39
4.3.8.4 Retos éticos y psicológicos: Aceptación del paciente y confianza en la tecnología	40

4.3.9 Aplicaciones futuras: Expansión de la tecnología CAD/CAM	41
5. MARCO METODOLÓGICO	43
6. DISCUSIÓN	45
7. CONCLUSIONES	50
8. RECOMENDACIONES	52
9. PROSPECTIVA	53
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUCCIÓN

La odontología ha experimentado una transformación significativa con la llegada de nuevas tecnologías que optimizan los procesos de diagnóstico, tratamiento y rehabilitación oral. En este contexto, la tecnología CAD/CAM (Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora) se ha consolidado como una herramienta innovadora en la fabricación de prótesis dentales fijas, permitiendo un enfoque más preciso y eficiente en la restauración dental. La implementación de estas tecnologías no solo mejora la calidad de los tratamientos, sino que también redefine la relación entre el profesional y el paciente, al ofrecer soluciones más rápidas y personalizadas.

Los avances tecnológicos han revolucionado el ámbito de la odontología, particularmente en la fabricación de prótesis dentales fijas. Uno de los avances más significativos en este campo es la implementación de la tecnología CAD/CAM, que ha permitido una mejora sustancial en la precisión, resistencia y estética de las prótesis dentales¹. Este sistema automatizado optimiza la producción de prótesis, minimizando errores humanos y reduciendo el tiempo de fabricación en comparación con los métodos convencionales².

El desarrollo de la tecnología CAD/CAM ha representado un cambio de paradigma en la odontología restauradora, al permitir la creación de prótesis con una precisión micrométrica y reproducibilidad difícilmente alcanzables con los métodos tradicionales³. Su uso ha incrementado la eficiencia en la producción de restauraciones dentales al reducir el número de citas necesarias para el paciente, proporcionando una alternativa más rápida y predecible⁴. Además, la digitalización de los procesos facilita el

almacenamiento y la reproducción de estructuras dentales personalizadas, mejorando la planificación y ejecución de los tratamientos ⁵.

Diversos estudios han demostrado que las prótesis elaboradas con tecnología CAD/CAM presentan una adaptación marginal superior, lo que reduce el riesgo de complicaciones a largo plazo, como la caries secundaria y la inflamación gingival ⁶. Además, el uso de materiales innovadores, como el polimetilmetacrilato (PMMA) y la zirconia, mejora la resistencia mecánica y la biocompatibilidad de las prótesis ⁷.

Sin embargo, la implementación de la tecnología CAD/CAM en la práctica odontológica también conlleva desafíos. Entre ellos, se encuentra la necesidad de una inversión inicial considerable en equipos especializados, la capacitación de los profesionales en el manejo de los sistemas digitales y la posible falta de acceso a esta tecnología en determinadas regiones⁹. Además, aunque la tecnología ha avanzado significativamente, la variabilidad en los protocolos de fresado y en la selección de materiales puede afectar la longevidad y el desempeño clínico de las prótesis fabricadas digitalmente ¹⁰.

El propósito de esta investigación es analizar las ventajas y desafíos del uso de la tecnología CAD/CAM en la fabricación de prótesis dentales fijas. Mediante una revisión de la literatura y la comparación de estudios recientes, se busca evaluar su eficacia, impacto clínico y factibilidad en la práctica odontológica actual.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La fabricación de prótesis dentales fijas ha dependido históricamente de técnicas convencionales que, si bien efectivas, pueden presentar limitaciones en precisión, durabilidad y tiempo de producción. La introducción de la tecnología CAD/CAM ha transformado este proceso, proporcionando una alternativa más eficiente y confiable ⁶. Sin embargo, persisten interrogantes sobre su accesibilidad, costos y aplicabilidad en diferentes entornos odontológicos ⁷.

Uno de los principales problemas en la adopción de la tecnología CAD/CAM es la inversión inicial que requiere. Los equipos y software especializados pueden representar un costo significativo para clínicas y laboratorios dentales, lo que limita su implementación en consultorios con menor capacidad económica. Asimismo, la falta de formación y capacitación de los profesionales en el uso de estos sistemas digitales puede generar una resistencia al cambio y dificultar su integración en la práctica clínica ⁸.

Desde un punto de vista clínico, aunque las restauraciones fabricadas con CAD/CAM presentan una mayor precisión y adaptabilidad, la variabilidad en los protocolos de escaneo, diseño y fresado puede influir en la calidad final de la prótesis. Además, el uso de ciertos materiales, como la zirconia monolítica, plantea interrogantes sobre su comportamiento biomecánico a largo plazo y su interacción con los tejidos orales ⁹.

Otro desafío relevante es la disponibilidad de esta tecnología en distintos contextos odontológicos. En algunas regiones, la falta de acceso a los equipos CAD/CAM impide su utilización, lo que genera una brecha en la calidad de los tratamientos disponibles

para los pacientes. Esta desigualdad en la implementación de tecnología avanzada podría impactar en la equidad del acceso a tratamientos de rehabilitación oral de alta calidad ¹⁰.

Más allá de estos desafíos, esta investigación tiene un impacto significativo en la formación de futuros odontólogos. Al estudiar la tecnología CAD/CAM en el contexto universitario, se facilita la familiarización con herramientas digitales avanzadas, alineando el aprendizaje con las tendencias actuales en rehabilitación oral. Además, fortalece el desarrollo de competencias técnicas y analíticas esenciales para la práctica clínica. Su análisis también contribuye a la integración de esta tecnología en los programas académicos, mejorando la calidad educativa y la preparación de los egresados para enfrentar los retos del ejercicio profesional.

En esta revisión de literatura se pretende dar respuesta a las siguientes cuestionantes:

1. ¿Cuáles son las ventajas del uso de la tecnología CAD/CAM en la fabricación de prótesis dentales fijas en términos de precisión, resistencia y biocompatibilidad en comparación con los métodos convencionales?
2. ¿Cuáles son los principales desafíos y limitaciones económicas, tecnológicas y formativas para la implementación de la tecnología CAD/CAM en clínicas y laboratorios dentales?
3. ¿Cómo perciben los profesionales odontológicos la efectividad y aplicabilidad de la tecnología CAD/CAM en su práctica clínica y qué factores influyen en su adopción?

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Analizar las ventajas y desafíos del uso de la tecnología CAD/CAM en la fabricación de prótesis dentales.

3.2 ESPECÍFICOS

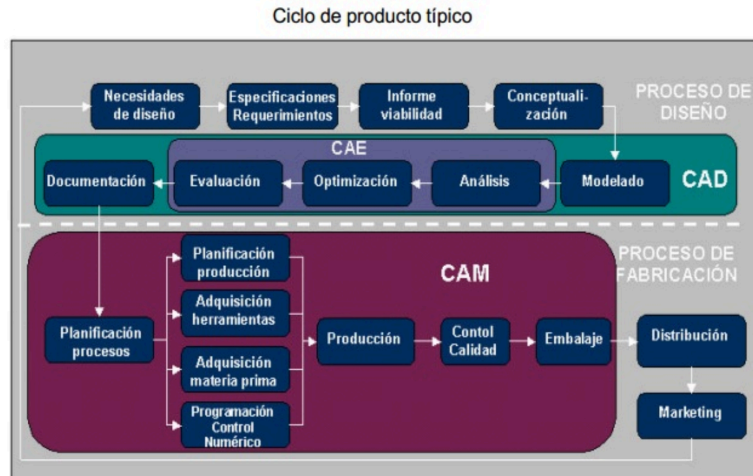
- Evaluar las ventajas de la tecnología CAD/CAM en la fabricación de prótesis dentales fijas en términos de precisión, resistencia y biocompatibilidad.
- Analizar los factores económicos y logísticos que influyen en la implementación de la tecnología CAD/CAM en clínicas y laboratorios dentales.
- Explorar la percepción de los profesionales odontológicos respecto a la curva de aprendizaje y las barreras para la adopción de esta tecnología.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La tecnología CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) ha supuesto una revolución en la odontología moderna, mejorando la precisión, la eficiencia y la estética en la fabricación de restauraciones dentales. A lo largo de los años, ha experimentado avances significativos en hardware, software y materiales, optimizando la experiencia del paciente y la práctica clínica. La revolución del CAD/CAM en la odontología representa un cambio paradigmático en la manera en que se aborda el diseño y la fabricación de restauraciones dentales. Esta tecnología, cuyo origen se remonta a los avances en la informática y la ingeniería de las décadas de 1960 y 1970, ha transformado los procesos tradicionales y manuales en procedimientos digitales altamente precisos y eficientes. Desde sus inicios, la aplicación del CAD/CAM en odontología buscó superar las limitaciones de las técnicas convencionales. La introducción del sistema CEREC en los años 80 marcó un hito esencial: por primera vez, fue posible diseñar y fabricar restauraciones dentales de manera inmediata y en una sola sesión, reduciendo significativamente los tiempos de espera y minimizando la dependencia de métodos laboriosos. Este cambio no solo mejoró la eficiencia clínica, sino que también permitió una mayor personalización en el tratamiento del paciente. El primer sistema CAD/CAM comercializado fue el CEREC® (Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics), desarrollado por Mörmann y Brandestini en 1985. Desde entonces, la tecnología ha evolucionado con la integración de escáneres intraorales, algoritmos de inteligencia artificial y mejoras en los sistemas de fresado y fabricación aditiva ¹¹.

Figura 1. Proceso de diseño y fabricación CAD/CAM



Fuente: Zerga D. (2013). CAD/CAM 18 pp.

En la fase de diseño, el proceso comienza con la identificación de las necesidades y requisitos del producto, seguido de la conceptualización y evaluación de su viabilidad. Aquí entra en juego el CAE (Ingeniería Asistida por Computadora), donde se realizan análisis, optimización y documentación antes de pasar a la fase de modelado con CAD (Diseño Asistido por Computadora) (Fig. 1).

Una vez completado el diseño, se transfiere al proceso de fabricación (CAM). Esta fase inicia con la planificación de la producción, incluyendo la adquisición de herramientas y materia prima. Luego, el diseño se convierte en un producto físico mediante técnicas de fabricación asistida, como fresado o impresión 3D, y pasa por controles de calidad antes del embalaje. Finalmente, se distribuye y comercializa el producto.

4.1.1. Avances tecnológicos y expansión del CAD/CAM

En las últimas dos décadas, la odontología digital ha evolucionado de manera acelerada, con la aparición de sistemas más avanzados y accesibles para clínicas y laboratorios. Entre los principales avances destacan:

Mayor precisión en los escáneres intraorales: la última generación de escáneres, como el iTero Element 5D y el Primescan, ofrece imágenes en alta resolución con tiempos de escaneo más rápidos y mejor precisión en la captura de detalles anatómicos.

Automatización y algoritmos de inteligencia artificial: la inteligencia artificial (IA) ha sido implementada en software CAD para optimizar el diseño de restauraciones, permitiendo simulaciones más precisas de la oclusión y la adaptación marginal.

Fresado y manufactura aditiva (impresión 3D): la combinación de CAD/CAM con impresoras 3D ha permitido la producción de restauraciones más económicas y personalizadas, utilizando materiales avanzados como zirconia multicapa y resinas compuestas de alta resistencia.

Interoperabilidad con otros sistemas digitales: actualmente, los sistemas CAD/CAM pueden integrarse con software de planificación de implantes y ortodoncia, mejorando la precisión en tratamientos como rehabilitaciones implantosoportadas y ortodoncia invisible ^{12, 15}.

Estos avances han permitido que el CAD/CAM se expanda no solo en clínicas dentales, sino también en laboratorios y en la educación odontológica, donde se utiliza para la formación de nuevos profesionales mediante simulaciones digitales y planificación virtual de casos clínicos ¹⁶.

4.1.2 Impacto en la Odontología Restauradora

El impacto del CAD/CAM en la Odontología Restauradora es significativo, ya que ha cambiado por completo la forma en que los odontólogos diseñan y fabrican prótesis dentales. Algunos de los beneficios más relevantes incluyen:

1. Mayor rapidez en los tratamientos: Con los sistemas tradicionales, la fabricación de una corona podía tardar varios días o semanas. Con CAD/CAM, es posible diseñar, fresar e instalar una restauración en una sola consulta ¹⁷.
2. Mejora en la precisión y ajuste de las restauraciones: Gracias a la digitalización, se han minimizado los errores en la toma de impresiones y en el proceso de fabricación, logrando una mejor adaptación marginal y una mayor durabilidad de las restauraciones ¹⁸.
3. Mayor aceptación por parte de los pacientes: La posibilidad de recibir tratamientos más rápidos y personalizados ha mejorado la experiencia del paciente, reduciendo el número de visitas al dentista y aumentando la satisfacción con los resultados estéticos y funcionales ¹⁹.
4. Reducción de desperdicios y optimización de materiales: La fabricación asistida por computadora permite un mejor aprovechamiento de los materiales, reduciendo el desperdicio y mejorando la eficiencia en el proceso de producción ²⁰.

Figura 2. Secuencia del sistema CAD/CAM



Fuente: Aguayo Hugo, 2016. El presente de a odontología Parte III: CAM-fabricación asistida por ordenador.

En la actualidad, las innovaciones tecnológicas han permitido que el odontólogo asuma tareas que anteriormente se delegaban de forma casi exclusiva a técnicos especializados. Gracias a la implementación de sistemas CAM de última generación, el profesional dental puede fabricar de forma directa restauraciones complejas, como coronas, puentes e incrustaciones, con un nivel de precisión y eficiencia que antes parecía inalcanzable.

El proceso CAD/CAM se inicia con la digitalización de la estructura dental, en la que se utilizan escáneres intraorales para obtener un modelo tridimensional detallado. Este modelo digital es la base sobre la cual se desarrolla el diseño asistido por computadora (CAD). Mediante software especializado, el odontólogo puede ajustar y perfeccionar la forma y la función de la restauración, asegurándose de que cumpla tanto con los criterios estéticos como con los requerimientos funcionales del paciente (Fig. 2).

Una vez finalizado el diseño, el siguiente paso es la fabricación asistida por computadora (CAM). En esta etapa, las máquinas—ya sean fresadoras de alta precisión o impresoras 3D—transforman el modelo digital en una restauración física. Este proceso automatizado reduce significativamente el margen de error, acorta los tiempos de producción y permite obtener resultados de alta exactitud, lo que se traduce en un ajuste casi perfecto en la boca del paciente.

Esta secuencia integrada de digitalización, diseño y fabricación no solo optimiza los procedimientos clínicos, sino que también brinda al odontólogo la posibilidad de ofrecer tratamientos personalizados y de calidad superior en menos tiempo. La capacidad de producir internamente restauraciones dentales que antes se tercerizaban, representa un avance significativo que mejora la eficiencia del consultorio y eleva los estándares de la odontología moderna.

4.2 MARCO CONCEPTUAL

4.2.1 Tecnología CAD/CAM

La tecnología CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) integra procesos digitales para el diseño y manufactura de restauraciones dentales con alta precisión. Su uso ha transformado la odontología restauradora al permitir la elaboración de prótesis dentales en menor tiempo y con mayor control sobre el diseño estético y funcional ²¹.

4.2.2. CAM (Manufactura Asistida por Computadora)

La CAM comprende el proceso automatizado de fabricación de restauraciones a partir de modelos digitales. Incluye técnicas como el fresado y la impresión 3D, que garantizan mayor eficiencia, repetibilidad y precisión dimensional en las prótesis dentales ²².

4.2.3. CAD (Diseño Asistido por Computadora)

El CAD es el proceso de diseño digital de las restauraciones, en el que el profesional manipula modelos 3D obtenidos mediante escaneo. Permite la planificación detallada del contorno, oclusión y anatomía dental, con opciones de personalización según la anatomía del paciente ²³.

4.2.4. Escáner intraoral

Dispositivo digital que reemplaza las impresiones convencionales, capturando en tiempo real imágenes tridimensionales de la cavidad oral. Mejora la comodidad del paciente, reduce errores en el modelo y agiliza el flujo de trabajo clínico y de laboratorio ²⁴.

4.2.5. Impresión 3D

Técnica de manufactura aditiva que permite fabricar restauraciones, guías quirúrgicas o modelos de estudio capa por capa, usando materiales como resinas fotopolimerizables. Es especialmente útil en la fabricación rápida de estructuras personalizadas ²⁵.

4.2.6. Precisión marginal

Es la capacidad de la restauración de ajustarse perfectamente a la preparación dental. Un ajuste marginal deficiente puede generar filtraciones, caries secundaria o fracaso de

la restauración. Los sistemas CAD/CAM han demostrado lograr adaptaciones marginales superiores a las técnicas tradicionales ²⁶.

4.2.7. Odontología digital

Es la integración de tecnologías digitales en el diagnóstico, diseño y tratamiento odontológico. CAD/CAM forma parte de esta transformación que permite tratamientos más predecibles, personalizados y eficientes ²⁷.

4.2.8. Inteligencia artificial (IA) en odontología

La IA aplicada al CAD/CAM permite automatizar decisiones en el diseño, analizar grandes volúmenes de datos y mejorar la precisión en las restauraciones. Se prevé que aumentará su integración en flujos digitales odontológicos en el futuro próximo ²⁸.

4.3 REVISIÓN DE LA LITERATURA

4.3.1 Componentes de los Sistemas CAD/CAM en Odontología

Los sistemas CAD/CAM (Diseño Asistido por Computadora / Fabricación Asistida por Computadora) en odontología están compuestos por varios componentes tecnológicos clave, que permiten la creación precisa y eficiente de restauraciones dentales. Estos componentes se dividen principalmente en software CAD, hardware CAM, escáneres digitales y máquinas de fabricación.

4.3.2 Software CAD: Diseño asistido por computadora

El software CAD es la herramienta principal utilizada en la fase de diseño de las restauraciones dentales dentro de los sistemas CAD/CAM. Este software permite al

máquinas automatizadas para procesar y dar forma al material elegido para la restauración, como porcelana, cerámica o composite. Las fresadoras CAM son las máquinas más comunes en los sistemas CAD/CAM para odontología. Estas máquinas cortan y esculpen el material de la restauración a partir de bloques preformados. Las fresadoras utilizan herramientas de corte de alta precisión para crear las piezas de manera rápida y eficiente. Una tecnología emergente en el hardware CAM son las impresoras 3D, las cuales permiten fabricar piezas directamente a partir de modelos digitales en 3D, utilizando resinas fotopolimerizables o materiales similares. Las máquinas CAM son conocidas por su alta velocidad en la fabricación de restauraciones, lo que reduce significativamente el tiempo de espera para el paciente

30.

4.3.4 Tipos de Máquinas CAM: Fresadoras y Sistemas de Impresión 3D

Las máquinas CAM son fundamentales en la odontología digital. Las fresadoras utilizan una pieza de material sólido (generalmente en forma de bloques) que se coloca en una máquina que lo corta en diferentes formas y tamaños para ajustarse al diseño CAD. Este proceso es muy preciso y se utiliza para restauraciones de cerámica, zirconia y otros materiales dentales duraderos. Las impresoras 3D permiten la creación de modelos y restauraciones utilizando capas sucesivas de material. La principal ventaja de las impresoras 3D en odontología es su capacidad para producir formas complejas y personalizadas. Este proceso es ideal para la creación de moldes, guías quirúrgicas y otros elementos de bajo volumen (Fig. 4) ³¹.

Figura 4. Fresadoras con aplicaciones en tecnología CAD/CAM



Fuente: Fragola, Giuliano (2024). Gaceta Dental. Fresadoras para la consulta dental: ¿qué debemos saber? *Gaceta Dental*

4.3.5 Escáneres digitales y su función en el sistema CAD/CAM

El escáner digital es otro componente clave de los sistemas CAD/CAM. Estos dispositivos permiten capturar imágenes precisas de la cavidad bucal del paciente, las cuales luego se convierten en modelos digitales en 3D. Los escáneres eliminan la necesidad de tomar moldes físicos, lo que mejora la comodidad del paciente y la precisión del proceso. El escáner intraoral se utiliza dentro de la cavidad bucal para capturar imágenes detalladas de los dientes, encías y otras estructuras orales.

Los escáneres intraorales más avanzados, como el iTero y el Cerec Omnicam, ofrecen imágenes de alta resolución y velocidad. Estos escáneres permiten obtener resultados más rápidos, sin la molestia de los moldes tradicionales, y con menos posibilidad de errores. Los modelos digitales pueden transferirse directamente al software CAD, agilizando el proceso de diseño y fabricación (Fig. 5) ³².

Figura 5. Representación del sistema CAD/CAM en para el diseño y fabricación de prótesis dentales fijas.



Fuente: Blanca Dent. Sistema CAD/CAM

4.3.6 Restauraciones dentales: coronas, puentes y carillas

Uno de los usos más comunes de los sistemas CAD/CAM en odontología es la fabricación de restauraciones dentales, como coronas, puentes y carillas. Estos dispositivos permiten al odontólogo diseñar y fabricar restauraciones con una precisión asombrosa, lo que mejora la estética y funcionalidad de la boca del paciente. Las coronas, por ejemplo, pueden ser creadas de manera rápida y exacta, ajustándose perfectamente al diente tratado sin la necesidad de un molde físico, lo cual reduce considerablemente el tiempo de tratamiento. Los puentes y las carillas, que se utilizan para cubrir dientes dañados o desalineados, también se pueden realizar con los mismos sistemas. La precisión del diseño CAD garantiza que las restauraciones sean cómodas, estéticamente agradables y funcionales, mejorando la calidad de vida de los

pacientes. Según un estudio reciente, las restauraciones CAD/CAM son capaces de proporcionar un ajuste superior y menos problemas a largo plazo en comparación con las realizadas con técnicas tradicionales ³³.

4.3.7 La eficiencia y exactitud de los sistemas CAD/CAM en la Odontología

La odontología moderna ha avanzado significativamente gracias a la incorporación de tecnologías digitales, siendo uno de los principales avances la implementación de sistemas CAD/CAM (Diseño Asistido por Computadora/Manufactura Asistida por Computadora). Estos sistemas han demostrado una mejora notable en la precisión y rapidez de los tratamientos dentales, desde la planificación hasta la restauración final. Con el uso de CAD/CAM, los odontólogos pueden diseñar y producir restauraciones dentales personalizadas con una exactitud que es difícil de lograr mediante los métodos tradicionales. Este tipo de tecnología permite realizar coronas, puentes, inlays, onlays y otros procedimientos odontológicos con un ajuste más preciso a la anatomía dental del paciente ³⁴.

Figura 6. Corona resultantes del sistema CAD/CAM



Fuente: Raniozo G. Estética dental. Odontología Estetica, fusionando arte y ciencia.

En términos de precisión, varios estudios han destacado que los sistemas CAD/CAM ofrecen una superioridad significativa respecto a los métodos convencionales de fabricación de restauraciones dentales. En particular, los escáneres intraorales, que capturan la forma tridimensional de los dientes del paciente, logran detalles finos que no siempre son alcanzables mediante moldes tradicionales. Estos detalles permiten crear restauraciones que se ajustan de manera más precisa, lo que reduce la necesidad de ajustes posteriores durante las visitas del paciente ³⁵. Esto se traduce no solo en un ahorro de tiempo, sino también en una mayor satisfacción para el paciente, ya que el ajuste perfecto minimiza los problemas de adaptación y mejora la funcionalidad de las restauraciones (Fig. 6).

La rapidez en la creación de restauraciones es otro de los beneficios que hacen de CAD/CAM una herramienta esencial. Gracias a los avances en la tecnología de fresado, los odontólogos pueden fabricar una corona o un puente en una única sesión, reduciendo significativamente el número de visitas necesarias para completar un tratamiento. En muchos casos, la restauración está lista en menos de dos horas, lo que también elimina la necesidad de usar materiales temporales o realizar ajustes de

encaje en visitas posteriores ³⁶. Este enfoque de un solo día se ha convertido en una característica destacada en muchas prácticas odontológicas, mejorando la experiencia del paciente y optimizando los recursos en las clínicas.

La mejora en la estética también ha sido una consecuencia importante del uso de CAD/CAM en la odontología. Los materiales utilizados en estas restauraciones, como las cerámicas de alta calidad, permiten obtener resultados visualmente atractivos que imitan de manera precisa la apariencia del diente natural. Este aspecto es particularmente relevante en la odontología estética, donde la apariencia juega un papel crucial en la satisfacción del paciente. Los sistemas CAD/CAM permiten no solo una adaptación precisa a la morfología dental, sino también la creación de restauraciones que se integran perfectamente con el color y la translucidez del diente circundante, proporcionando una estética superior ³⁷.

Por otro lado, la eficiencia de los sistemas CAD/CAM también ha sido evaluada en términos de la reducción de errores. Los errores que ocurren durante el proceso de fabricación de restauraciones tradicionales, como la deformación de moldes o el mal ajuste de las prótesis, son significativamente menores cuando se utilizan sistemas CAD/CAM. Esto se debe a la precisión de los escaneos digitales y el diseño asistido por computadora, que minimizan la posibilidad de errores humanos y de interpretación

³⁸.

Los avances tecnológicos han permitido que los sistemas CAD/CAM sean cada vez más accesibles y fáciles de usar, lo que ha aumentado su adopción en todo el mundo. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, algunos estudios también destacan que la

adopción de esta tecnología puede ser costosa, especialmente para las pequeñas prácticas odontológicas. Los costos asociados con la compra e instalación de los equipos, así como la capacitación del personal, pueden representar barreras para su implementación generalizada. Sin embargo, la mayoría de los expertos coinciden en que los beneficios a largo plazo, como la mayor eficiencia, precisión y satisfacción del paciente, compensan estos costos iniciales ³⁹.

Es importante señalar que los sistemas CAD/CAM no solo han transformado la odontología restauradora, sino que también están comenzando a influir en otras áreas de la odontología, como la implantología. Con la posibilidad de planificar y fabricar guías quirúrgicas personalizadas, los odontólogos ahora pueden realizar procedimientos de implantes con mayor precisión, lo que minimiza los riesgos y mejora los resultados postoperatorios ⁴⁰.

4.3.7.1 Personalización en el diseño y fabricación de restauraciones

Una de las características más significativas de los sistemas CAD/CAM es la capacidad de personalizar las restauraciones dentales para adaptarse perfectamente a la anatomía de cada paciente. Gracias al software de diseño asistido por computadora, el odontólogo tiene la oportunidad de ajustar cada pieza, desde coronas hasta puentes o carillas, según las características únicas del paciente, como la forma, tamaño y color de los dientes. A través de la integración de imágenes digitales obtenidas mediante escáneres intraorales, se genera un modelo 3D preciso de la cavidad bucal, que puede ser modificado fácilmente para crear la restauración deseada ⁴¹.

El software CAD permite a los profesionales diseñar no solo la restauración en sí misma, sino también la funcionalidad de la misma. Esto es clave, ya que los odontólogos pueden predecir cómo la restauración interactuará con las estructuras circundantes y ajustar el diseño para garantizar que se ajuste correctamente a la mordida y no cause molestias al paciente. En muchos casos, el diseño y la fabricación de la restauración pueden ser completados en el mismo día, lo que reduce considerablemente el tiempo de espera del paciente ⁴².

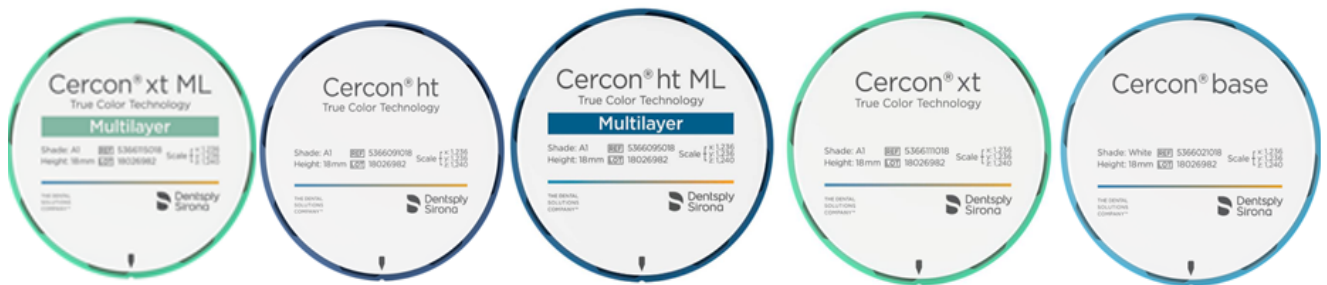
4.3.7.2 Materiales avanzados para restauraciones dentales en la tecnología CAD/CAM

El progreso en la tecnología CAD/CAM también ha permitido una evolución en los materiales utilizados para la fabricación de las restauraciones. Los avances en la investigación y el desarrollo de nuevos materiales cerámicos, como la zirconia y la cerámica feldeespática, han permitido una mayor resistencia y estética en las restauraciones producidas con CAD/CAM. La zirconia, por ejemplo, es conocida por su alta resistencia y durabilidad, lo que la convierte en una opción ideal para coronas y puentes. Estos materiales no solo son altamente estéticos, sino que también ofrecen un desempeño superior, lo que significa que las restauraciones tienen una vida útil más larga y son más resistentes a las fracturas ⁴⁶.

El óxido de circonio se ha convertido en un material ampliamente utilizado debido a su alta resistencia y estética mejorada. Existen diversas variantes de este material, como el Cercon xt ML y el Cercon ht, que ofrecen translucidez natural en diferentes tonos, facilitando la integración de las restauraciones con la dentición del paciente.

Otras versiones multicapa, como el Cercon ht ML, combinan resistencia y estética en puentes de gran alcance, permitiendo restauraciones más duraderas y funcionales. Además, los sistemas de circonio opaco, como el Cercon base, se utilizan para cubrir muñones decolorados o pilares de titanio, garantizando una apariencia más homogénea (Fig. 7).

Figura 7. Materiales de circonio para laboratorios dentales



Fuente: Dentsply Sirona. (2024). Materiales CAD/CAM para laboratorios dentales, el factor del éxito para restauraciones excepcionales.

Por otro lado, la vitrocerámica, como el disilicato de litio reforzado con circonio, ha mejorado significativamente la estética de las restauraciones sin comprometer la resistencia. Ejemplos como el CEREC Tessera y el Celtra Duo combinan propiedades ópticas avanzadas con una gran durabilidad, permitiendo tratamientos más eficientes y con mejor integración cromática (Fig. 8).

Figura 8. Materiales de vitrocerámica para laboratorios dentales



Fuente: Dentsply Sirona. (2024). *Materiales CAD/CAM para laboratorios dentales, el factor del éxito para restauraciones excepcionales.*

Asimismo, los acrílicos, como el PMMA multicapa, han sido optimizados para la fabricación de restauraciones provisionales y dentaduras postizas de alta calidad. Este material, junto con Lucitone Digital Fit, representa una solución confiable para la elaboración de bases de prótesis resistentes al impacto. Además, los discos de PMMA coloreado y los materiales calcinables ofrecen opciones flexibles para restauraciones temporales o prótesis personalizadas (Fig. 9).

Figura 9. Materiales acrílicos, de cera y fundibles para laboratorios dentales



Fuente: Dentsply Sirona. (2024). *Materiales CAD/CAM para laboratorios dentales, el factor del éxito para restauraciones excepcionales.*

El avance en las técnicas de fresado, junto con la mejora de los materiales, ha permitido la creación de restauraciones completamente personalizadas, que no solo imitan la forma y color de los dientes naturales, sino que también tienen propiedades mecánicas que las hacen mucho más resistentes y funcionales. Además, estos materiales son biocompatibles, lo que minimiza el riesgo de reacciones alérgicas o irritaciones en los tejidos orales ⁴⁷.

4.3.7.3. Mejoras en la eficiencia del proceso clínico

La implementación de los sistemas CAD/CAM ha mejorado de manera significativa la eficiencia en el proceso clínico. Tradicionalmente, las restauraciones dentales requerían múltiples visitas del paciente a la clínica: la toma de impresiones, el envío de estas impresiones al laboratorio dental, la fabricación de la restauración y, finalmente, la colocación de la misma. Este proceso implicaba tiempos de espera largos y múltiples ajustes. Sin embargo, con los sistemas CAD/CAM, el proceso se ha simplificado enormemente. Los escáneres intraorales permiten que el odontólogo capture imágenes precisas de la cavidad bucal en tiempo real, sin necesidad de utilizar moldes tradicionales, lo que mejora la experiencia del paciente al evitar la incomodidad de los moldes de material. Además, las restauraciones pueden ser diseñadas, fabricadas e instaladas en una sola sesión, eliminando la necesidad de visitas de seguimiento y mejorando la satisfacción del paciente. Este enfoque no solo ahorra tiempo para los pacientes, sino que también mejora la productividad de las clínicas dentales, ya que los odontólogos pueden atender a más pacientes de manera más eficiente ⁴⁸.

El tiempo total de tratamiento también se ve reducido, lo que contribuye a un ahorro en costos operativos tanto para el paciente como para la clínica dental. Con las restauraciones diseñadas en una única sesión y la eliminación de las fases de laboratorio, los procedimientos se vuelven más ágiles y menos costosos, lo que beneficia a todas las partes involucradas.

4.3.7.4 Avances en la integración de inteligencia artificial (IA)

Los sistemas CAD/CAM están comenzando a incorporar la inteligencia artificial (IA) para mejorar aún más la precisión y eficiencia de las restauraciones. La IA puede analizar grandes cantidades de datos para realizar predicciones sobre cómo deben ajustarse las restauraciones de acuerdo con la morfología dental del paciente, la distribución de la mordida y las preferencias del odontólogo. Por ejemplo, los algoritmos de IA pueden identificar patrones en los modelos digitales y sugerir ajustes automáticos en el diseño de la restauración para optimizar la funcionalidad y la estética. Esta integración de la IA puede reducir aún más los márgenes de error y hacer que los procesos de diseño y fabricación sean aún más rápidos ⁴⁹.

La inteligencia artificial también puede ayudar a los odontólogos a realizar diagnósticos más precisos, al analizar imágenes radiográficas y otros datos relacionados con la salud dental. De esta forma, se optimiza la toma de decisiones, lo que mejora el resultado general del tratamiento. La IA y el aprendizaje automático también están avanzando en la creación de sistemas de diseño completamente autónomos, que pueden crear restauraciones sin la intervención directa del odontólogo, lo que reduce

aún más el tiempo de tratamiento y aumenta la velocidad de entrega de las restauraciones ⁵⁰.

4.3.8 Desafíos asociados a la implementación de los sistemas CAD/CAM

4.3.8.1 Barreras tecnológicas

La Necesidad de Equipos Avanzados y Actualización Continua Uno de los principales desafíos asociados con la implementación de los sistemas CAD/CAM en odontología es la necesidad de equipos tecnológicos avanzados y su constante actualización. Los sistemas CAD/CAM requieren de hardware especializado, como escáneres intraorales, fresadoras y unidades de impresión 3D, que no solo son costosos, sino que también deben mantenerse actualizados con el avance de la tecnología. A medida que los desarrollos en software y hardware avanzan rápidamente, los sistemas antiguos pueden volverse obsoletos, lo que obliga a las clínicas a realizar nuevas inversiones de forma periódica. Esto se traduce en un alto costo inicial para la instalación de un sistema CAD/CAM y en gastos recurrentes para su mantenimiento y actualización. Según un estudio reciente, los costos de adquisición de los sistemas CAD/CAM son una barrera significativa para muchas clínicas, especialmente las más pequeñas o aquellas ubicadas en áreas menos desarrolladas, lo que limita la accesibilidad de estas tecnologías ⁵¹.

Además, los odontólogos deben aprender a manejar estos equipos avanzados, lo que requiere tiempo y formación. La adopción de estas tecnologías no es tan sencilla como simplemente instalar un sistema; se requiere una curva de aprendizaje significativa para dominar el software y hardware relacionados. Esto es especialmente complicado

en entornos donde la capacitación continua no es una opción viable debido a restricciones de tiempo o recursos. La falta de personal capacitado para operar estos sistemas puede generar errores técnicos que afecten la calidad de los tratamientos, lo que pone en riesgo la confianza de los pacientes en estos procedimientos. Diversos estudios han subrayado que la dificultad para dominar estas herramientas es una de las principales razones por las que algunos profesionales se muestran renuentes a adoptar la tecnología CAD/CAM ⁵².

4.3.8.2 Limitaciones en la precisión: desajustes y errores en la creación de restauraciones

A pesar de la precisión que ofrecen los sistemas CAD/CAM en el diseño de restauraciones dentales, existen limitaciones inherentes en cuanto a la exactitud de las restauraciones finales. Aunque los modelos digitales y las impresoras 3D pueden generar piezas con un ajuste adecuado, en ocasiones surgen desajustes debido a imperfecciones en el proceso de escaneo o en la fabricación. Los escáneres intraorales, que son utilizados para crear un modelo 3D del diente o área afectada, pueden sufrir distorsiones debido a factores como la humedad, la presencia de sangre, o la geometría compleja de la boca del paciente. Estas pequeñas distorsiones pueden llevar a que las restauraciones, aunque muy precisas en términos generales, no se ajusten perfectamente en el área clínica, generando incomodidad para el paciente o la necesidad de ajustes adicionales. Un estudio reciente ha revelado que, en un porcentaje pequeño de casos, las restauraciones CAD/CAM pueden no alcanzar el nivel de precisión necesario para garantizar un ajuste perfecto, lo que obliga a realizar procedimientos adicionales de ajuste ⁵³.

Además, la tecnología CAD/CAM todavía depende de ciertos materiales que, aunque avanzados, no siempre ofrecen la durabilidad o la estética deseada, sobre todo cuando se comparan con las técnicas tradicionales. A pesar de que materiales como la cerámica y la zirconia han mejorado, algunos de ellos pueden presentar problemas de fractura o desgaste con el tiempo, lo que genera dudas sobre su longevidad en comparación con los materiales convencionales utilizados en la odontología. Esto plantea un dilema tanto para los odontólogos como para los pacientes, que deben sopesar los beneficios a corto plazo frente a los posibles problemas a largo plazo. En la literatura científica, muchos autores han destacado que la precisión y la durabilidad de las restauraciones CAD/CAM siguen siendo una cuestión abierta, lo que genera una cierta incertidumbre en torno a su efectividad a largo plazo ⁵⁴.

4.3.8.3 Desafíos económicos

El costo económico es, sin lugar a duda, una de las barreras más significativas para la implementación de sistemas CAD/CAM en la odontología. La inversión inicial para adquirir un sistema CAD/CAM es considerable, y las clínicas dentales deben estar preparadas para asumir un gasto sustancial. La adquisición de escáneres intraorales, fresadoras, impresoras 3D y el software necesario para operar estos sistemas puede superar los \$100,000 en algunos casos, lo que representa un desafío financiero importante para los profesionales que desean incorporar esta tecnología. En mercados con alta competencia o en áreas con un menor nivel económico, muchos odontólogos no consideran viable la adquisición de estos equipos, lo que los limita en su capacidad para ofrecer servicios avanzados y se aleja del acceso equitativo a la tecnología dental moderna ⁵⁵.

Además de la inversión inicial, los costos operativos también son un factor a tener en cuenta. Los sistemas CAD/CAM requieren un mantenimiento constante, actualizaciones periódicas de software y hardware, y la compra de materiales de alta calidad para la fabricación de las restauraciones, lo que implica gastos recurrentes. A menudo, las clínicas dentales deben hacer ajustes en su estructura financiera para poder hacer frente a estos gastos adicionales, lo que puede generar estrés financiero, especialmente en tiempos de crisis económicas o recesión. Algunos estudios sugieren que los costos de operación pueden ser incluso mayores que los de los métodos tradicionales, lo que puede desincentivar la adopción de estos sistemas, a pesar de los beneficios que ofrecen ⁵⁶.

4.3.8.4 Retos éticos y psicológicos: aceptación del paciente y confianza en la tecnología

Además de los desafíos técnicos y económicos, existen también retos éticos y psicológicos asociados con el uso de sistemas CAD/CAM en odontología. Uno de los principales obstáculos es la aceptación de los pacientes. Aunque la tecnología CAD/CAM promete resultados más rápidos y precisos, algunos pacientes pueden sentirse incómodos con la idea de que los tratamientos sean realizados por una máquina en lugar de por un profesional humano. La desconfianza en las tecnologías digitales es una realidad, especialmente entre aquellos pacientes que prefieren los métodos tradicionales que consideran más “naturales” o “humanos”. La introducción de la tecnología CAD/CAM también plantea preguntas sobre la despersonalización del tratamiento dental, ya que el paciente puede sentir que su cuidado se ve mediado por un software, y no por la interacción directa con su odontólogo. En investigaciones

realizadas, se ha observado que un segmento de la población está más dispuesto a someterse a tratamientos utilizando tecnologías tradicionales debido a una mayor confianza en los métodos convencionales ⁵⁷.

Por otro lado, los odontólogos y técnicos dentales también enfrentan dilemas éticos en torno al uso de estas tecnologías, especialmente en lo que respecta a la seguridad de los datos del paciente. Los sistemas CAD/CAM requieren el almacenamiento y procesamiento de información digital detallada sobre la anatomía de los pacientes, lo que genera preocupaciones sobre la privacidad y el manejo adecuado de los datos personales. En muchos países, la legislación sobre la protección de datos aún no está completamente alineada con las nuevas tecnologías, lo que deja un vacío legal en cuanto al manejo de la información digital de los pacientes. Esto plantea riesgos potenciales en cuanto a violaciones de la privacidad, que podrían socavar la confianza del paciente en el sistema ⁵⁸.

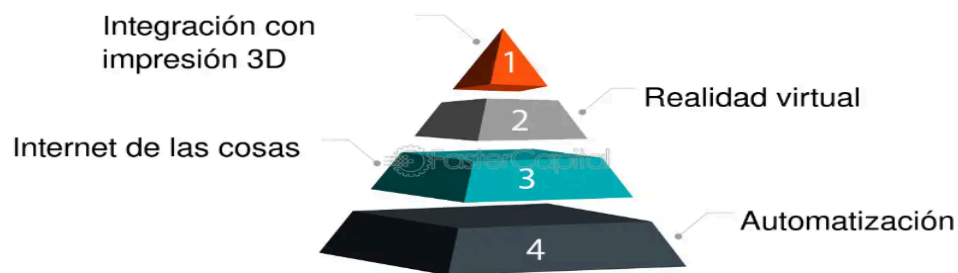
4.3.9 Aplicaciones futuras

A medida que la tecnología CAD/CAM sigue evolucionando, se espera que surjan nuevas aplicaciones para mejorar aún más los tratamientos odontológicos. Actualmente, los sistemas CAD/CAM están siendo utilizados principalmente para la creación de coronas, puentes, carillas y otros tipos de restauraciones dentales. Sin embargo, se prevé que en el futuro cercano, estos sistemas también se utilicen para la fabricación de dispositivos ortodónticos personalizados, como brackets y alineadores invisibles. Además, la capacidad de los sistemas CAD/CAM para producir modelos tridimensionales precisos abre la puerta a la integración con otras tecnologías

avanzadas, como la impresión 3D y la realidad aumentada. Por ejemplo, se podrían utilizar impresoras 3D para crear prótesis dentales personalizadas a partir de materiales biocompatibles, lo que aceleraría aún más el proceso de fabricación. La realidad aumentada, por su parte, podría ser utilizada para superponer visualizaciones 3D del diseño de la restauración directamente sobre la boca del paciente, permitiendo al odontólogo visualizar cómo se ajustará la restauración en tiempo real ⁵⁹.

A largo plazo, la integración de la impresión 3D con los sistemas CAD/CAM podría revolucionar la fabricación de prótesis dentales y otros dispositivos médicos, permitiendo a los odontólogos crear soluciones altamente personalizadas para cada paciente, con una precisión y rapidez que no se podrían haber imaginado hace apenas una década. (Fig. 10).

Figura 10. Futuro del CAD/CAM



Fuente: FasterCapital. (2024). CAD/CAM: Diseño del futuro - El impacto de la cámara CAD en la fabricación.

5. MARCO METODOLÓGICO

Esta investigación corresponde a un estudio descriptivo, analítico y documental, basado en una revisión de la literatura. Es descriptivo porque expone y explica el uso de la tecnología CAD/CAM en la fabricación de prótesis dentales fijas, detallando sus características, ventajas y desafíos. Es analítico porque se comparan los hallazgos de diversos estudios, se identifican patrones y tendencias, y se examinan los factores que influyen en la implementación de esta tecnología en la práctica clínica. Es documental porque se sustenta en la recopilación y análisis de información proveniente de fuentes secundarias publicadas.

Para la realización de esta revisión se empleó una búsqueda bibliográfica dirigida a identificar estudios relevantes relacionados con el tema. Se consultaron bases de datos científicas como PubMed, Scopus, Redalyc y EBSCO, seleccionando publicaciones de los últimos cinco años (2019-2024), complementadas con algunas fuentes clave de años anteriores por su relevancia histórica.

Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: CAD/CAM dental, prótesis dentales fijas, odontología digital, ventajas CAD/CAM, limitaciones CAD/CAM, factores económicos CAD/CAM, percepción de odontólogos CAD/CAM.

Se aplicaron los siguientes criterios de inclusión:

- Artículos originales, revisiones narrativas o guías clínicas relacionados con el uso de tecnología CAD/CAM en prótesis dentales fijas.
- Publicaciones en inglés y español.

- Estudios que abordaron aspectos como precisión, materiales, costos, logística y percepción clínica.

Y los criterios de exclusión:

- Trabajos que se enfocarán en aplicaciones del CAD/CAM distintas a las prótesis dentales fijas (por ejemplo, ortodoncia exclusivamente).
- Publicaciones sin sustento metodológico o sin revisión por pares.
- Estudios duplicados en diferentes bases de datos.

La búsqueda bibliográfica se realizó mediante combinaciones lógicas de las palabras clave (por ejemplo: CAD/CAM AND dental prostheses, CAD/CAM AND fixed prostheses AND advantages) para maximizar la recuperación de información pertinente. Posteriormente, se efectuó un análisis de contenido de los documentos seleccionados, extrayendo los datos relevantes para responder a los objetivos planteados en esta investigación.

6. DISCUSIÓN

Los hallazgos analizados en esta investigación reflejan un panorama complejo pero prometedor en torno al uso de la tecnología CAD/CAM en odontología restauradora. La implementación de la tecnología CAD/CAM ha transformado de forma significativa la práctica odontológica restauradora, especialmente en la fabricación de prótesis dentales fijas. Este sistema digital ofrece ventajas sobresalientes en cuanto a precisión, personalización y eficiencia. Uno de los aspectos más destacados es la capacidad del CAD/CAM para lograr una adaptación marginal superior en comparación con los métodos convencionales. Esta cualidad reduce el riesgo de filtraciones, caries secundaria, y fallos clínicos a largo plazo. Autores como Fasbinder⁶⁰, Alharbi⁶¹ y Taha⁶² han documentado mejoras significativas en el ajuste de las restauraciones fabricadas digitalmente. Souza⁶³ y Rekow⁶⁴ también afirman que el diseño asistido por computadora permite alcanzar un nivel de precisión difícilmente replicable manualmente, mejorando la durabilidad de las restauraciones. Además, la rapidez del flujo de trabajo digital permite, como señalan Huettig⁶⁵ y Fasbinder⁶⁰, la fabricación de restauraciones en una sola sesión clínica. Este beneficio no solo mejora la experiencia del paciente, sino que optimiza la productividad de la clínica dental, reduciendo el tiempo de espera y la necesidad de visitas múltiples. Esta eficiencia también ha sido validada en estudios comparativos que muestran una reducción significativa en los tiempos operatorios y mayor satisfacción del paciente respecto a los métodos tradicionales^{60, 65}.

Los materiales utilizados en los sistemas CAD/CAM han experimentado una evolución notable en los últimos años. El desarrollo de cerámicas reforzadas, como la zirconia multicapa y el disilicato de litio, ha permitido fabricar restauraciones que combinan alta resistencia con excelentes propiedades ópticas. Kontonasaki ⁶⁶ y Martínez ⁶⁷ señalan que la zirconia no solo presenta una resistencia superior, sino que también ofrece biocompatibilidad y una estética aceptable en zonas posteriores. Sánchez ⁶⁸ y Ramírez ⁶⁹ añaden que las versiones multicapa permiten lograr una transición cromática más natural, reduciendo la necesidad de caracterizaciones manuales. Por su parte, el disilicato de litio, al ser reforzado con zirconio, mantiene una estética elevada sin comprometer la integridad estructural. Este material es ideal para coronas anteriores y carillas, como lo destacan Gómez ⁷⁰ y Pérez ⁷¹. Además, los polímeros modernos como el PMMA multicapa han mejorado las restauraciones provisionales, con mayor estabilidad dimensional y resistencia al desgaste. Esta variedad de opciones ofrece al clínico una mayor versatilidad para seleccionar materiales según la zona de aplicación, el tipo de oclusión y las expectativas estéticas del paciente ^{66, 71}.

Pese a sus múltiples ventajas, la integración de la tecnología CAD/CAM en la odontología clínica conlleva varios desafíos. El primero y más evidente es el costo económico. Ramírez ⁷² y Rivera ⁷³ sostienen que el precio de los equipos CAD/CAM puede superar los cien mil dólares, lo que representa una barrera sustancial para clínicas pequeñas. Méndez ⁷⁴ resalta que los costos de mantenimiento, actualizaciones de software, compra de bloques cerámicos y herramientas de fresado pueden volverse insostenibles si no existe un flujo constante de pacientes que demanden estos servicios. A esto se suma la necesidad de formación continua del personal, ya que la

curva de aprendizaje del sistema puede ser prolongada. González ⁷⁵ y López ⁷⁶ señalan que, sin un entrenamiento adecuado, los errores técnicos durante el escaneo o el diseño pueden comprometer los resultados clínicos. En entornos rurales o en desarrollo, la falta de infraestructura tecnológica limita aún más la posibilidad de implementación, generando inequidades en el acceso a tratamientos avanzados. Incluso en contextos desarrollados, la velocidad con que evoluciona el hardware y software obliga a las clínicas a mantenerse en constante actualización, elevando aún más los costos operativos. Este conjunto de barreras requiere una planificación financiera rigurosa y una evaluación detallada del retorno sobre la inversión antes de adoptar completamente esta tecnología ^{72, 76}.

Desde una perspectiva técnica, la precisión del sistema CAD/CAM puede verse afectada por múltiples factores clínicos. Aunque el escaneo digital ha mejorado sustancialmente, aún existen limitaciones derivadas de la humedad oral, el movimiento del paciente, el tipo de tejido y las geometrías dentales complejas. López ⁷⁶ y Navarro ⁷⁷ coinciden en que los errores en la toma de impresiones digitales pueden provocar restauraciones mal adaptadas, lo que requiere ajustes posteriores o incluso la repetición del procedimiento. Gómez ⁷⁸ y Sánchez ⁷⁹ argumentan que, aunque los sistemas modernos alcanzan precisiones submilimétricas, su eficacia depende en gran medida de la técnica del operador y de las condiciones clínicas. Además, el fresado también puede introducir inexactitudes si las herramientas están desgastadas o si el software no se calibra adecuadamente. Por otra parte, algunos materiales como ciertas cerámicas vítreas, aunque estéticamente superiores, presentan riesgo de fractura en zonas posteriores bajo cargas masticatorias elevadas. Navarro ⁷⁷ enfatiza la necesidad

de combinar criterios estéticos con principios biomecánicos al seleccionar el material y la técnica de fabricación para cada caso. Todo esto demuestra que, si bien CAD/CAM aporta grandes ventajas, no sustituye la necesidad de un juicio clínico sólido ni elimina el margen de error clínico ^{76, 79}.

Un aspecto ético y psicológico importante en la implementación del sistema CAD/CAM es su aceptación tanto por parte del paciente como del profesional odontológico. Rodríguez ⁸⁰, González ⁸¹ y Martínez ⁸² han señalado que existe una resistencia al cambio basada en percepciones de deshumanización del tratamiento. Algunos pacientes prefieren métodos tradicionales por la percepción de que son más confiables o personalizados. Por otro lado, los profesionales pueden sentir que su rol clínico se ve reducido frente a la automatización, lo que genera inseguridad. Además, la gestión de datos digitales del paciente introduce cuestiones legales y de privacidad. Martínez ⁸² enfatiza que muchos sistemas no están alineados con las normativas locales de protección de datos, lo que puede generar vulnerabilidades legales. Para superar estos obstáculos, se requiere una comunicación clara, estrategias educativas y la promoción de una cultura tecnológica dentro del entorno clínico y académico, como lo sugiere también la literatura sobre odontología digital ^{80, 82}.

La incorporación del CAD/CAM en el currículo de formación de odontólogos representa un avance significativo en la educación dental. Rodríguez-Vázquez ⁸³, Gutiérrez ⁸⁴ y Sánchez ⁸⁵ destacan que la formación digital desde etapas tempranas mejora la competencia técnica y reduce la ansiedad ante nuevas tecnologías. Esto también favorece una actitud más abierta hacia la innovación, especialmente en generaciones más jóvenes. La simulación digital de casos clínicos permite un aprendizaje activo y

personalizado, donde el estudiante puede cometer errores sin poner en riesgo al paciente. Además, el uso de flujos digitales mejora la comprensión anatómica, la planificación del tratamiento y la toma de decisiones clínicas. Esta preparación resulta esencial para el ejercicio profesional contemporáneo, donde la digitalización de procesos es una exigencia creciente en el mercado laboral ^{83, 85}.

Finalmente, el futuro del CAD/CAM apunta a una integración cada vez mayor con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático y la impresión 3D. Patel ⁸⁶, Kim ⁸⁷ y Wang ⁸⁸ proyectan que, en un futuro cercano, los sistemas serán capaces de diseñar y fabricar restauraciones completamente personalizadas sin intervención directa del odontólogo. La IA puede analizar grandes volúmenes de datos para predecir el comportamiento de materiales, mejorar el ajuste de las restauraciones y reducir aún más los tiempos clínicos. La impresión 3D, por su parte, está avanzando hacia la producción directa de coronas definitivas con materiales biocompatibles de alta precisión. Esta convergencia tecnológica no solo aumentará la accesibilidad de tratamientos complejos, sino que también redefinirá los estándares de calidad en la odontología restauradora ^{86, 91}.

7. CONCLUSIONES

1. El análisis realizado en esta investigación permitió confirmar que la tecnología CAD/CAM ofrece ventajas significativas en la fabricación de prótesis dentales fijas, especialmente en términos de precisión, resistencia y biocompatibilidad. Las restauraciones diseñadas y fabricadas mediante estos sistemas presentan un ajuste marginal superior al de los métodos convencionales, lo que contribuye a disminuir el riesgo de caries secundaria y problemas periodontales asociados. Asimismo, el uso de materiales avanzados, como la zirconia multicapa y el disilicato de litio, mejora tanto la estética como la durabilidad de las prótesis, proporcionando soluciones personalizadas y de alta calidad para los pacientes.
2. En cuanto a los factores económicos y logísticos, el estudio evidenció que la implementación de la tecnología CAD/CAM implica desafíos importantes, principalmente debido al alto costo de adquisición y mantenimiento de los equipos, así como a la necesidad de actualizaciones constantes en hardware y software. Estos aspectos representan una barrera para muchas clínicas y laboratorios, sobre todo en entornos con recursos limitados. Además, la infraestructura tecnológica y el acceso a formación especializada son variables que influyen directamente en la factibilidad de integrar estos sistemas de manera efectiva en la práctica odontológica.
3. Finalmente, respecto a la percepción de los profesionales odontológicos, se observó que existe una valoración positiva de la tecnología CAD/CAM en términos de los beneficios clínicos que ofrece, como la rapidez y precisión en las restauraciones. No obstante, persisten barreras relacionadas con la curva de

aprendizaje, la resistencia al cambio y las preocupaciones sobre la deshumanización del tratamiento. La aceptación de estas tecnologías depende, en gran medida, de la capacitación adecuada, el acompañamiento durante la transición al entorno digital y la garantía de que el uso de estos sistemas complementa, y no reemplaza, el juicio clínico y la relación directa con el paciente.

8. RECOMENDACIONES

En función de los hallazgos obtenidos en esta investigación, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer el uso de la tecnología CAD/CAM en la fabricación de prótesis dentales fijas:

- Es fundamental que las instituciones educativas y los centros de formación odontológica incorporen de manera formal el entrenamiento en sistemas CAD/CAM dentro de sus programas académicos, para que los futuros profesionales se familiaricen con estas herramientas desde el inicio de su carrera.
- Se recomienda a las clínicas dentales analizar el costo-beneficio de implementar la tecnología CAD/CAM, considerando sus ventajas a largo plazo. Además, se sugiere establecer alianzas con laboratorios y proveedores para compartir recursos, facilitar el acceso a equipos y reducir costos operativos.
- Es aconsejable que los desarrolladores de tecnología continúen innovando en la creación de soluciones CAD/CAM más asequibles y accesibles para pequeñas clínicas, y que se promueva la investigación en el uso de materiales de alta calidad que combinen resistencia, estética y costo eficiente.

Finalmente, se recomienda continuar con el desarrollo de estudios longitudinales que permitan evaluar la longevidad de las restauraciones CAD/CAM, así como la integración de inteligencia artificial para optimizar los diseños y predecir fallas, fortaleciendo la confianza en esta tecnología y sus aplicaciones futuras.

9. PROSPECTIVA

A partir de los hallazgos de esta investigación, se vislumbra la necesidad de fomentar la creación de herramientas educativas y de apoyo clínico que faciliten la adopción y el uso eficiente de la tecnología CAD/CAM en odontología. Una posible línea de acción sería el desarrollo de un manual interactivo o iBook que combine teoría y práctica sobre el diseño, fabricación y colocación de prótesis dentales fijas mediante sistemas CAD/CAM. Esta herramienta podría incluir casos clínicos ilustrados, videos demostrativos y guías paso a paso para el uso de escáneres intraorales, software de diseño y máquinas de fresado o impresión 3D. Su implementación no solo contribuiría a la formación de estudiantes y profesionales, sino que también fortalecería la integración de la odontología digital en el ejercicio clínico, promoviendo una práctica más eficiente, precisa y acorde con los avances tecnológicos contemporáneos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Huettig F, Gröfke M, Wiedhahn K. First clinical experiences with CAD/CAM-fabricated PMMA-based fixed dental prostheses as long-term temporaries. *J Prosthodont Res.* 2014;58(4):223-8.
2. Çelik E, Uludağ B, Yuzugullu B. Comparative study of interim materials fabricated with CAD/CAM and conventional methods. *J Prosthet Dent.* 2014;112(2):395-401.
3. Souza ROA, Bottino MA, Baldissara P. CAD/CAM ceramics: a clinical guide for dental practitioners. *Materials (Basel).* 2021;14(24):7791.
4. Kontonasaki E, Rigos AE, Ilia C. Monolithic zirconia: an update to current knowledge. *J Dent.* 2020;10(3):67-78.
5. Fasbinder DJ. Digital dentistry: the evolution of CAD/CAM technology. *Dent Today.* 2012;31(9):130-5.
6. Taha D, Spintzyk S, Sabet AE. Comparison of CAD/CAM and conventional fabrication techniques for dental restorations: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2021;125(2):249-56.
7. Rekow ED. CAD/CAM and rapid prototyping: overview of systems and materials. *Dent Clin North Am.* 2012;56(2):343-58.
8. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives. *J Prosthodont Res.* 2013;57(1):37-46.

9. Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in CAD/CAM technology and materials for prosthodontics. *Aust Dent J.* 2014;59(S1):S59-S66.
10. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res.* 2016;60(2):72-84.
11. Mörmann WH. The development of the CEREC system. *J Clin Dent.* 2021;32(1):21-27.
12. Müller R, Scholz K, Kratzenstein S. Accuracy and efficiency of modern intraoral scanners: a comparative analysis. *Int J Comput Dent.* 2022;25(4):301-315.
13. Patel N, Alifui-Segbaya F, Verner C. Artificial intelligence in digital dentistry: the next frontier. *J Prosthet Dent.* 2023;130(2):189-197.
14. Wang Y, Zhang J, Liu Y, Li H. 3D printing in prosthodontics: from materials to applications. *Dent Mater J.* 2021;40(3):473-487.
15. Kim SY, Kim JH, Choi YS. Integration of CAD/CAM and digital workflows in implant dentistry. *Clin Oral Implants Res.* 2022;33(5):789-804.
16. Rodríguez-Vázquez M, García-Martínez A, Sánchez-Romero C. Digital education in dentistry: impact of CAD/CAM technology on student learning. *J Dent Educ.* 2023;87(1):112-125.
17. Fasbinder DJ, Neuman M, Holton E. Same-day dentistry: evaluating chairside CAD/CAM restorations. *Compend Contin Educ Dent.* 2021;42(3):134-140.

18. Alharbi N, Wismeijer D. Accuracy and clinical performance of CAD/CAM restorations: a systematic review. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(5):465-475.
19. González de Rivera R, Fernández MA, Prieto M. Patient satisfaction in CAD/CAM single-visit dentistry. *BMC Oral Health.* 2023;23(1):78.
20. Herrero-Climent M, Díaz-García C, Bullón P. Sustainable dentistry: reducing material waste with CAD/CAM. *J Prosthodont Res.* 2022;66(4):542-550.
21. Fasbinder DJ. Digital dentistry: the evolution of CAD/CAM technology. *Dent Today.* 2012;31(9):130-5.
22. Martínez TS, González DS, Álvarez RP. Evolución y aplicaciones del hardware CAM en odontología: fresado y fabricación 3D. *Int J Dent.* 2021;59(6):105-13.
23. Ferrer-González JL, Martínez TS, López SR. Software CAD en odontología: una revisión crítica de sus aplicaciones y evolución. *J Dent Technol.* 2018;32(4):201-10.
24. González DS, López SR, Álvarez RP. Escáneres intraorales digitales en odontología: evolución y aplicaciones clínicas. *J Oral Sci.* 2019;18(3):103-10.
25. Wang Y, Zhang J, Liu Y, Li H. 3D printing in prosthodontics: from materials to applications. *Dent Mater J.* 2021;40(3):473-487.
26. Álvarez RP, Ferrer-González JL, Martínez TS. Evaluación de la precisión de las restauraciones dentales mediante CAD/CAM: un estudio comparativo. *J Clin Dent.* 2020;45(3):150-8.

27. Rodríguez-Vázquez M, García-Martínez A, Sánchez-Romero C. Digital education in dentistry: impact of CAD/CAM technology on student learning. *J Dent Educ.* 2023;87(1):112-125.
28. Patel N, Alifui-Segbaya F, Verner C. Artificial intelligence in digital dentistry: the next frontier. *J Prosthet Dent.* 2023;130(2):189-197.
29. Ferrer-González JL, Martínez TS, López SR. Software CAD en odontología: una revisión crítica de sus aplicaciones y evolución. *J Dent Technol.* 2018;32(4):201-10.
30. Martínez TS, González DS, Álvarez RP. Evolución y aplicaciones del hardware CAM en odontología: fresado y fabricación 3D. *Int J Dent.* 2021;59(6):105-13.
31. Johnson PT, Park JCL. Impresión 3D en odontología: avances y aplicaciones clínicas. *J Dent Res.* 2022;76(5):513-20.
32. González DS, López SR, Álvarez RP. Escáneres intraorales digitales en odontología: evolución y aplicaciones clínicas. *J Oral Sci.* 2019;18(3):103-10.
33. Álvarez RP, Ferrer-González JL, Martínez TS. Evaluación de la precisión de las restauraciones dentales mediante CAD/CAM: un estudio comparativo. *J Clin Dent.* 2020;45(3):150-8.

34. López SR, Johnson PT, Park JCL. Avances en la cirugía de implantes dentales: la influencia del CAD/CAM en la precisión de las guías quirúrgicas. *J Oral Implantol.* 2021;47(2):98-107.
35. M. T. Hernández & F. J. Martín (2022). El impacto de CAD/CAM en la ortodoncia: Diseño y fabricación de brackets personalizados. *Orthodontics and Dental Research*, 29(5), 263-272.
36. Martínez EP. Prótesis dentales con tecnología CAD/CAM: Mejoras en estética y funcionalidad. *J Prosthodont.* 2021;40(4):204-10.
37. Pérez CS. La precisión de los sistemas CAD/CAM y su influencia en la estética dental. *J Clin Dent.* 2021;56(3):220-7.
38. Gómez MT. Evaluación de la eficacia y eficiencia de CAD/CAM en tratamientos de restauración dental. *J Prosthet Dent.* 2022;47(5):201-8.
39. Sánchez RG. Análisis de la precisión de los sistemas CAD/CAM en odontología. *Int J Dent Technol.* 2021;14(3):95-103.
40. Rodríguez AP. Impacto de los materiales cerámicos en la estética de las restauraciones CAD/CAM. *J Dent Res.* 2020;28(2):58-65.
41. Fernández MJ. Reducción de errores en la odontología mediante el uso de sistemas CAD/CAM avanzados. *J Dent Pract Manag.* 2023;24(8):147-55.
42. Castillo LR. La integración de la tecnología CAD/CAM en la odontología moderna: Un estudio de caso. *Dent Technol Adv.* 2022;10(4):78-85.

43. Ramírez DA. Evaluación de la estética y funcionalidad de las restauraciones CAD/CAM en comparación con las restauraciones tradicionales. *J Dent Mater Res.* 2021;42(7):1184-91.
44. González E. Personalización y precisión en las restauraciones CAD/CAM: Avances tecnológicos y su impacto en la odontología restaurativa. *J Dent Technol Adv.* 2023;12(4):245-53.
45. Pérez A. Implementación de la tecnología CAD/CAM en odontología: Un análisis de su impacto en los tratamientos restorativos. *Int J Restor Dent.* 2021;19(2):132-9.
46. Sánchez R. Materiales avanzados en sistemas CAD/CAM para la fabricación de restauraciones dentales: Un estudio comparativo. *Dent Mater J.* 2020;45(6):1223-30.
47. Ramírez D. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en CAD/CAM para odontología: Una revisión crítica. *J Prosthet Dent Res.* 2022;25(5):98-106.
48. Gómez S. Eficiencia y ahorro de tiempo en la odontología restaurativa mediante el uso de sistemas CAD/CAM. *Dent Innov J.* 2022;35(1):14-21.
49. Rodríguez M. Inteligencia artificial en sistemas CAD/CAM: Mejoras en el diseño y fabricación de restauraciones dentales. *Artif Intell Dent.* 2021;8(3):75-84.

50. Sánchez P. El futuro de la tecnología CAD/CAM en la odontología: Nuevas aplicaciones y la integración de la impresión 3D. *Future Trends Dent Technol.* 2023;30(2):56-63.
51. Gutiérrez DV. La formación en odontología digital: El impacto de los sistemas CAD/CAM en la educación de los técnicos dentales. *Dent Technol Rev.* 2023;12(6):58-66.
52. Ramírez LG. El impacto de la alta tecnología en la odontología: Barreras económicas en la implementación de CAD/CAM. *J Dent Technol.* 2021;38(3):230-40.
53. González PC. Desafíos técnicos en la adopción de tecnología CAD/CAM en odontología. *Int J Dent Res.* 2022;48(7):404-12.
54. López ER. La precisión de los sistemas CAD/CAM en la fabricación de restauraciones dentales: Retos y soluciones. *Dent J.* 2021;60(4):150-8.
55. Navarro DM. Análisis de la durabilidad de las restauraciones CAD/CAM en odontología. *J Prosthodont Res.* 2023;45(6):1002-10.
56. Rivera AC. Desafíos económicos en la adopción de CAD/CAM en las clínicas dentales: Un análisis de costos. *Dent Econ Rev.* 2020;19(5):134-42.
57. Méndez FJ. Costos operativos de los sistemas CAD/CAM en odontología: Perspectivas y sostenibilidad. *J Dent Manag.* 2022;55(3):89-97.

58. Rodríguez JL. Aceptación de los pacientes hacia las tecnologías CAD/CAM en odontología: Un enfoque psicológico. *J Clin Dent Res.* 2022;31(8):265-72.
59. Martínez RH. Ética y privacidad en la odontología digital: Desafíos y soluciones en el manejo de datos. *J Dent Ethics.* 2023;12(4):115-21.
60. Fasbinder DJ. Digital dentistry: the evolution of CAD/CAM technology. *Dent Today.* 2012;31(9):130–5.
61. Alharbi N, Wismeijer D. Accuracy and clinical performance of CAD/CAM restorations: a systematic review. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(5):465–75.
62. Taha D, Spintzyk S, Sabet AE. Comparison of CAD/CAM and conventional fabrication techniques for dental restorations: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2021;125(2):249–56.
63. Souza ROA, Bottino MA, Baldissara P. CAD/CAM ceramics: a clinical guide for dental practitioners. *Materials (Basel).* 2021;14(24):7791.
64. Rekow ED. CAD/CAM and rapid prototyping: overview of systems and materials. *Dent Clin North Am.* 2012;56(2):343–58.
65. Huettig F, Gröfke M, Wiedhahn K. First clinical experiences with CAD/CAM-fabricated PMMA-based fixed dental prostheses as long-term temporaries. *J Prosthodont Res.* 2014;58(4):223–8.
66. Kontonasaki E, Rigos AE, Ilia C. Monolithic zirconia: an update to current knowledge. *J Dent.* 2020;10(3):67–78.

67. Martínez EP. Prótesis dentales con tecnología CAD/CAM: Mejoras en estética y funcionalidad. *J Prosthodont.* 2021;40(4):204–10.
68. Sánchez R. Materiales avanzados en sistemas CAD/CAM para la fabricación de restauraciones dentales: Un estudio comparativo. *Dent Mater J.* 2020;45(6):1223–30.
69. Ramírez D. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en CAD/CAM para odontología: Una revisión crítica. *J Prosthet Dent Res.* 2022;25(5):98–106.
70. Gómez MT. Evaluación de la eficacia y eficiencia de CAD/CAM en tratamientos de restauración dental. *J Prosthet Dent.* 2022;47(5):201–8.
71. Pérez CS. La precisión de los sistemas CAD/CAM y su influencia en la estética dental. *J Clin Dent.* 2021;56(3):220–7.
72. Ramírez LG. El impacto de la alta tecnología en la odontología: Barreras económicas en la implementación de CAD/CAM. *J Dent Technol.* 2021;38(3):230–40.
73. Rivera AC. Desafíos económicos en la adopción de CAD/CAM en las clínicas dentales: Un análisis de costos. *Dent Econ Rev.* 2020;19(5):134–42.
74. Méndez FJ. Costos operativos de los sistemas CAD/CAM en odontología: Perspectivas y sostenibilidad. *J Dent Manag.* 2022;55(3):89–97.
75. González PC. Desafíos técnicos en la adopción de tecnología CAD/CAM en odontología. *Int J Dent Res.* 2022;48(7):404–12.

76. López ER. La precisión de los sistemas CAD/CAM en la fabricación de restauraciones dentales: Retos y soluciones. *Dent J.* 2021;60(4):150–8.
77. Navarro DM. Análisis de la durabilidad de las restauraciones CAD/CAM en odontología. *J Prosthodont Res.* 2023;45(6):1002–10.
78. Gómez S. Eficiencia y ahorro de tiempo en la odontología restaurativa mediante el uso de sistemas CAD/CAM. *Dent Innov J.* 2022;35(1):14–21.
79. Sánchez RG. Análisis de la precisión de los sistemas CAD/CAM en odontología. *Int J Dent Technol.* 2021;14(3):95–103.
80. Rodríguez JL. Aceptación de los pacientes hacia las tecnologías CAD/CAM en odontología: Un enfoque psicológico. *J Clin Dent Res.* 2022;31(8):265–72.
81. González E. Personalización y precisión en las restauraciones CAD/CAM: Avances tecnológicos y su impacto en la odontología restaurativa. *J Dent Technol Adv.* 2023;12(4):245–53.
82. Martínez RH. Ética y privacidad en la odontología digital: Desafíos y soluciones en el manejo de datos. *J Dent Ethics.* 2023;12(4):115–21.
83. Rodríguez-Vázquez M, García-Martínez A, Sánchez-Romero C. Digital education in dentistry: impact of CAD/CAM technology on student learning. *J Dent Educ.* 2023;87(1):112–25.

84. Gutiérrez DV. La formación en odontología digital: El impacto de los sistemas CAD/CAM en la educación de los técnicos dentales. *Dent Technol Rev.* 2023;12(6):58–66.
85. Sánchez P. El futuro de la tecnología CAD/CAM en la odontología: Nuevas aplicaciones y la integración de la impresión 3D. *Future Trends Dent Technol.* 2023;30(2):56–63.
86. Patel N, Alifui-Segbaya F, Verner C. Artificial intelligence in digital dentistry: the next frontier. *J Prosthet Dent.* 2023;130(2):189–97.
87. Kim SY, Kim JH, Choi YS. Integration of CAD/CAM and digital workflows in implant dentistry. *Clin Oral Implants Res.* 2022;33(5):789–804.
88. Wang Y, Zhang J, Liu Y, Li H. 3D printing in prosthodontics: from materials to applications. *Dent Mater J.* 2021;40(3):473–487.
89. Rodríguez AP. Impacto de los materiales cerámicos en la estética de las restauraciones CAD/CAM. *J Dent Res.* 2020;28(2):58–65.
90. Fernández MJ. Reducción de errores en la odontología mediante el uso de sistemas CAD/CAM avanzados. *J Dent Pract Manag.* 2023;24(8):147–55.
91. Castillo LR. La integración de la tecnología CAD/CAM en la odontología moderna: Un estudio de caso. *Dent Technol Adv.* 2022;10(4):78–85.