

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADORA EN ODONTOLOGÍA RESTAURADORA, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS: UNA REVISIÓN NARRATIVA

COMPUTER-AIDED MANUFACTURING IN RESTORATIVE DENTISTRY, CURRENT STATUS AND FUTURE PERSPECTIVES: A NARRATIVE REVIEW

Calatrava, L.,¹ Torres, J.,²

1. Profesor Titular jubilado de la UCV. Master of Science University of Michigan, Doctor en Odontología, UCV
2. Residente del postgrado de prostodoncia de la UCV, Alumno de Maestría en Odontología, UCV

Volumen 11.
Número 3.

Septiembre- Diciembre 2022

Recibido: 12 junio 2022
Aceptado: 20 julio 2022

RESUMEN

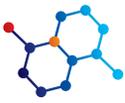
En esta era de transformación, la adopción de tecnologías emergentes está remodelando la atención dental al reemplazar los procesos manuales con procedimientos digitales. Este momento tecnológico disruptivo facilita la innovación y la creatividad, al realizar restauraciones. Los nuevos métodos de fabricación se pueden dividir en: 1- El fresado que emplea métodos sustractivos a través de diseños asistidos por computadora y fabricación asistida por computadora (CAD-CAM), ampliamente implementado, con una gran cantidad de estudios que demuestran precisión y eficiencia. Sin embargo, el fresado produce un desperdicio y existen limitaciones con respecto a diseños complejos. 2- La tecnología más recientemente en odontología, la impresión tridimensional, también conocida como fabricación aditiva (Additive Manufacturing, AM en inglés) que construye objetos agregando capas sucesivas de material, utilizando tecnología CAD o escáneres; es un método de rápido crecimiento y expansión. En general, la fabricación aditiva produce poco desperdicio de material y es energéticamente eficiente en comparación con la fabricación sustractiva, debido a la pasividad y la naturaleza de capas aditivas del proceso de construcción. El objetivo de esta revisión narrativa fue evaluar y comparar los beneficios y limitaciones de las nuevas tendencias digitales en odontología restauradora, basados en evidencia.

Palabras clave: Odontología digital, CAD/CAM, Fabricación aditiva; Odontología Restauradora.

ABSTRACT

In this age of transformation, the adoption of emerging technologies is reshaping dental care by replacing manual processes with digital procedures. This disruptive technological moment facilitates innovation and creativity, when performing restorations. These new manufacturing methods can be divided into: 1- Milling using subtractive methods through computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD-CAM), widely implemented, with a large number of studies demonstrating accuracy and efficiency. However, milling is wasteful and there are limitations to complex designs. 2- A more recent technology in dentistry, three-dimensional printing, also known as Additive Manufacturing, (AM) that builds objects by adding successive layers of material, using CAD technology or scanners; it is a method of rapid growth and expansion. In general, additive manufacturing produces little material waste and is energy efficient compared to subtractive manufacturing, due to the passive and additive layered nature of the construction process. The objective of this narrative review was to evaluate and compare the benefits and limitations of the new digital trends in restorative dentistry, based on evidence.

Key words: Digital dentistry, CAD/CAM, Additive manufacturing; restorative dentistry.



INTRODUCCIÓN

Durante la última década el número de nuevos materiales de restauración ha aumentado considerablemente para satisfacer la creciente preocupación por la estética; por lo tanto, su selección y técnica de elaboración se ha convertido en una decisión crítica. Paralelamente, el desarrollo de técnicas seguras, la mayor disponibilidad de educación continua y la comprensión e implementación de procedimientos correctos, permiten a los profesionales brindar una mejor atención odontológica.^{1,2}

Ese efecto sinérgico, de la introducción de tecnologías digitales, y la evolución de materiales con características mecánicas y estéticas adecuadas, ha llevado a un cambio profundo en la odontología restauradora protésica.³

Los procesos de diseño asistido por computadora y fabricación asistida por computadora (CAD-CAM) han abierto una amplia gama de formas de apoyar o incluso reemplazar los flujos de trabajo convencionales. En el campo del área restauradora, han contribuido a mejorar su planificación y fabricación eficiente, y en especial estos avances, han provocado una reacción en el desarrollo de restauraciones estéticas con propiedades biomecánicas superiores.^{4,5}

Hoy en día, los fabricantes proponen más de 20 bloques para uso en el consultorio, disponibles en diferentes tamaños, tonos y translucidez, y pueden requerir un tratamiento posterior al fresado, que será diferente según el tipo de material. Sin duda es complejo elegir el material adecuado para la situación clínica, entre esta amplia gama de material y la comunicación comercial relacionada.⁶

Aunque ninguno de los materiales actuales exhibe propiedades clínicas ideales para aplicaciones universales, se están realizando intensos esfuerzos de investigación para promover la resistencia, la estética, la precisión y la capacidad de adherirse de manera confiable a los sustratos dentales, evolucionando fuertemente con la evidencia de estudios clínicos a más largo plazo.^{7,8}

Así, una variedad de sistemas de rehabilitación con cerámica CAD/CAM está en constante evolución para satisfacer las crecientes demandas de restauraciones altamente estéticas, biocompatibles y duraderas. Las restauraciones de circonia de contorno completo (monolítica) están ganando constantemente mayor demanda a expensas de los sistemas bicapa. También, recientemente se han agregado opciones de tratamiento innovadoras en restauraciones de 1 visita en el consultorio: los bloques CAD/CAM de red de cerámica infiltrados con polímeros. Por lo tanto, los avances en la ciencia de los materiales y los protocolos de unión, fomentan el desarrollo de las aplicaciones digitales en procesos de fabricación estandarizados, que dan como resultado un flujo de trabajo fiable, predecible y económico, para restauraciones individuales y complejas en odontología.⁹⁻¹¹

Se ha señalado que, con materiales alternativos, estos sistemas también permiten establecer una nueva dimensión vertical o relación céntrica, de una manera más fácil, eficiente, manejable y más predecible; sobre todo en las prótesis de transición (terapia provisional) para determinar si el resultado estético propuesto y el esquema oclusal funcionaría a largo plazo.¹²

Aunque este método es una tecnología bien establecida, también tiene inconvenientes como: curva de aprendizaje, pérdida de material y costo, así como la precisión del procedimiento que puede verse limitada por los factores como la complejidad del objeto y el tamaño de la maquinaria de herramientas y las propiedades del material.¹

En relación a la curva de aprendizaje Christensen plantea que el período de aprendizaje para el uso clínico de CAD/CAM varía desde unos pocos días para expertos en computadoras hasta meses para otros. El uso frecuente en lugar de ocasionalmente acorta el tiempo de aprendizaje inicial. El dispositivo debe usarse con frecuencia para garantizar que el clínico y el personal sean competentes en su funcionamiento.¹⁴

En la actualidad, otra opción, las restauraciones impresas en 3D han mostrado varias ventajas. Algunos estudios han demostrado que estas, son significativamente mejores que los de las restauraciones fresadas y podrían ayudar a proporcionar servicios más personalizados, de menor costo y simplificar el complejo flujo de trabajo de producción de los tratamientos dentales. Estas tecnologías de impresión 3D pueden aceptar rápidamente datos CAD, sin embargo, todavía tienen varias desventajas, como el alto costo de procesamiento; pero aun así, en general, la impresión 3D se ha aplicado con éxito en el campo médico.¹⁵

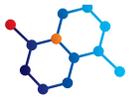
Si bien este procedimiento y sus materiales asociados se encuentran en la etapa inicial de desarrollo, regularmente ingresan nuevas técnicas y materiales, por lo cual los profesionales deben ser conscientes de las limitaciones de esta tecnología; no obstante, se ha expresado que, en un futuro cercano, aun debemos esperar que la tecnología de impresión 3D se utilice para una amplia gama de restauraciones dentales.¹⁶

De lo expuesto se aprecia que la tendencia de la digitalización es un fenómeno omnipresente en la actualidad, en la comunidad dental. El número de resultados para el término odontología digital (digital dentistry) en PubMed, la base de datos de información científica, señala (2022: n = 15.558) en comparación con resultados (2005: n = 280).¹⁷

Este artículo tiene como objetivo ofrecer una descripción general actual de estas técnicas de digitales CAD CAM e impresión 3D en odontología restauradora, basándose en una revisión narrativa de la literatura utilizando tres bases de datos de literatura importantes (PubMed, Science Direct, Google Scholar) y que cubre los últimos 25 años. Se intenta reportar sus posibles ventajas y desventajas, además de proporcionar una descripción general científica y práctica de estos procesos digitales actuales, y un resumen de sus aplicaciones clínicas en odontología restauradora.

LA FABRICACIÓN SUSTRATIVA

Los métodos de fabricación convencionales implican registrar una impresión del sitio de tratamiento, para obtener un modelo físico, verter un modelo de yeso y construir un patrón de cera, que luego con la técnica de cera perdida, se reemplaza con un material permanente como metal, cerámica o acrílico. Dichos pasos requieren una intervención humana considerable y la manipulación de materiales que también pueden presentar una contracción y/o expansión inherente al procesamiento. Esto puede



traducirse en un aumento de errores e imprecisiones, así como en un aumento del tiempo y costo. Además, se requieren habilidades específicas para producir restauraciones de buena calidad, ya que son sensibles a la técnica e impredecibles debido a muchas variables.

Los beneficios de la tecnología de ingeniería computarizada en la odontología están asociados con procedimientos de fabricación simplificados, de alta precisión y recursos humanos reducidos. No se necesita espacio para el almacenamiento en el flujo de trabajo digital completo, y si se requiere una nueva versión, se puede producir una réplica de la reconstrucción original de forma rápida y económica mediante la creación rápida de prototipos. Este proceso tiene el potencial de cambiar la profesión; los principales beneficios serán la reducción de los costos de producción, la mejora en la eficiencia del tiempo y el cumplimiento de las percepciones de los pacientes sobre un concepto de tratamiento modernizado.¹⁸

La introducción en 1983 del método Procera representó un hito en la tecnología dental digital, ya que automatizó la fabricación de componentes dentales protésicos.^{19, 20} Nobelpharma, el precursor de Nobel Biocare, adquirió Procera en 1988 y lanzó la primera cofia CAD/CAM de cerámica. De repente fueron factibles soluciones restauradoras sin metales, que se consideraban imposibles. En la siguiente década, Mormann y Brandestini desarrollaron el Sistema CEREC en Zúrich, Suiza. El nombre **CEREC** significa **RE**construcción **CE**rámica. CEREC es así, responsable del aumento exponencial de la tecnología CAD/CAM alrededor del mundo.^{21,22}

La primera revolución digital tuvo lugar con la producción de restauraciones dentales como carillas, onlays, coronas y puentes utilizando sistemas CAD-CAM o asistidas por computador, denominadas así por sus iniciales en inglés (Computer-Aided Design y Computer-Aided Manufacturing).^{21, 23, 24}

Luego aparecieron en el mercado con gran rapidez, nuevos sistemas y materiales mejorados, como lo demuestra la introducción de una nueva gama de escáneres intraorales digitales.^{25,26}

La tecnología CAD/CAM es un flujo de trabajo digital que requiere tres pasos: El primero es la virtualización, es decir digitalizar el paciente mediante fotografía digital, escáner facial, imágenes de tomografía computarizada de haz cónico, escáner intraoral de superficie, estereofotogrametría digital y quizás muy importante es la captación de la dinámica mandibular; Segundo, procesamiento digital de datos mediante un programa para delimitar la preparación, oclusión y restauración dental; y tercero, la producción de la restauración diseñada, utilizando procesos de fabricación sustractivos, que requieren el fresado deseado a partir de un bloque de material.

Los resultados iniciales de la tecnología CAD/CAM parecían muy prometedores, pero requerían una cantidad excesiva de tiempo para la fabricación. Esta primera generación de hardware y software de computadora ofrecía una vista bidimensional (2-D) limitada de las imágenes escaneadas. La capacidad del disco duro no podía almacenar el gran volumen de datos necesarios para una vista tridimensional (3-D). La evolución de la tecnología informática de apoyo, ha dado como resultado restauraciones de cerámica de múltiples unidades con un alto estándar, convirtiéndose en una realidad clínica práctica, lo que hacía posible que el

profesional produjera restauraciones en el consultorio.²⁷

Estos procesos de fabricación sustractiva asistida por computadora (CAM), como el fresado, se han convertido en un enfoque importante para producir restauraciones; estas se pueden crear utilizando dos métodos: “mecanizado suave” o “mecanizado duro” de bloques completamente sinterizados. El método de mecanizado suave, se basa en el fresado de bloques presinterizados seguidos de sinterización; es la técnica de fabricación más utilizada. Esto conduce a una distribución bastante uniforme y homogénea de los componentes dentro del bloque y un tamaño de poro muy pequeño (20-30 nm). Finalmente, la estructura se sinteriza a altas temperaturas y alcanza sus máximas propiedades mecánicas al sufrir una contracción volumétrica lineal recuperando sus dimensiones correctas; con esta técnica las fresas para el tallado sufren menor desgaste.⁷

En el maquinado duro, o también denominando húmedo, se usan bloques que han sufrido el proceso de cocción completo y por tanto de sinterización. Durante el maquinado de la restauración, las fresas de diamante o de carburo son irrigadas y protegidas por un rocío de líquido frío para evitar el sobre-calentamiento del bloque, totalmente sinterizado y con las características físicas y mecánicas adecuadas. Este proceso elimina la posibilidad de contracción de la prótesis final, lo cual puede ser ventajoso, pero también puede conducir a una transformación de fase de tetragonal a monoclinica en el caso de circonia, y la aparición de microfisuras, con su impacto perjudicial en la longevidad de la restauración final.^{13, 23, 24}

Con estos métodos, justo después finalizando el diseño de la restauración indirecta, se selecciona el tamaño y la posición del bloque de material de restauración, con el fin de obtener los mejores resultados, con la menor pérdida de tiempo y por el proceso de mecanizado. El procedimiento de fresado puede ser realizado con el uso de fresas de carburo o diamante en medio ambiente seco o refrigerante bajo el agua, cuando sea necesario. El número de ejes es uno de los parámetros importantes, porque la geometría de la restauración depende del número de posiciones de acceso que puede obtener la fresa durante el mecanizado. Cuantos más ejes, la morfología de la restauración puede ser más detallada.

Otro aspecto a destacar es la estabilización del bloque de material de restauración en la máquina. En general, el bloque se estabiliza por uno de sus lados. Por lo tanto, la unidad de fresado no tiene acceso a un punto, y por lo tanto, en esa área, el fresado debe ser manual. Sin embargo, los sistemas modernos tienen fresadoras mejoradas con más ejes y cortes, aumentando así la definición de restauraciones.²⁸

Kazama-Koide, M et al. (2014) ideó un método, de mecanizado de alta precisión para bloques de circonia Y-TPZ, sinterizados, usando un equipo industrial de láser Nd:YVO4 Q, eliminando costos de instrumentos.²⁹ Más reciente, también se ha propuesto la ablación o fresado por láser; es similar a los sistemas de fresado tradicionales, pero utiliza el rayo láser, es decir, es una tecnología alternativa que considera la disminución en el consumo de material en estructuras de circonia, aumento de la velocidad de procesamiento, precisión y disminución del espesor.³⁰

Las herramientas dentales CAD/CAM han seguido avanzando tanto en sofisticación como en aceptación por parte de la indus-



tria dental. Al estandarizar los procedimientos, las tecnologías CAD/CAM han demostrado ser capaces de crear componentes fabricados de alta calidad.

Estos bloques fabricados industrialmente, CAD/CAM, han sido una buena alternativa tanto para los odontólogos como para los laboratorios; son más homogéneos, con defectos mínimos y se ha encontrado que las restauraciones realizadas con este método, se comparan favorablemente con otras opciones de restauración. Es decir que los avances en la tecnología CAD/CAM son fundamentales en la investigación y el desarrollo de cerámicas policristalinas de alta resistencia, como el dióxido de circonio estabilizado, que prácticamente es difícil procesarlas por los métodos tradicionales de laboratorio.

Una preocupación sobre el bloque de cerámica ha sido su apariencia monocromática. Los primeros bloques de cerámica para el fresado en el consultorio solo estaban disponibles en tonos limitados. Los profesionales dentales tuvieron que superar esta deficiencia con procedimientos de tinción externa. Sin embargo, con los nuevos avances en la tecnología de fabricación, se encuentra disponible en el mercado una mayor selección de bloques con cualidades estéticas.

Otros factores pueden influir en el éxito de las restauraciones realizadas con un sistema CAD/CAM, como son la preparación dental, los sistemas de escaneo, el software CAD, la etapa de producción o el tipo de material utilizado.³¹

De allí que se ha recomendado que en el proceso de fabricación sustractivo se realicen modificaciones menores en la preparación del diente para un material de vitrocerámica, que difieren si se utiliza la técnica de cera perdida, con el fin de minimizar el efecto de la compensación de fresado y el riesgo de fresado excesivo, que puede provocar la fractura debido al desarrollo de tensiones internas en las transiciones pronunciadas, la reducción del espesor del material y el aumento del espesor del cemento de resina. Es decir, la geometría de preparación de los bordes incisales y las puntas de las cúspides se deben redondear para adaptarse a la fresa que se utiliza en el proceso de fabricación sustractiva.³²

La odontología digital CAD/CAM en el consultorio es una inversión financiera significativa que involucra múltiples piezas de tecnología, que puede ser más fácil si está en una práctica grupal. Sin embargo, no se debe adoptar un enfoque de todo o nada. Es importante la curva de aprendizaje del software que ejecuta la tecnología, lo que significa adaptarse a un nuevo flujo de trabajo. Es decir, muchos factores influyen en la decisión de invertir en tecnología CAD/CAM y el éxito depende de su propio entusiasmo, disposición para aprender nuevas tecnologías y cambiar procesos previos.

FABRICACIÓN ADITIVA (AM): UNA NUEVA DIMENSIÓN EN ODONTOLOGÍA

En la actualidad, como hemos citado, se están produciendo mayores cambios en los laboratorios dentales como consecuencia de las tecnologías digitales, trasladando potencialmente la investigación de materiales dentales en una dirección totalmente diferente. Ya en 2012, van Noort, expresó que la fabricación

de dispositivos dentales experimentaría una segunda revolución cuando las técnicas de elaboración en capas lleguen al punto de poder producir prótesis dentales de alta calidad.³³

De manera general, la fabricación aditiva, (Additive Manufacturing AM en inglés) también conocida como impresión 3D, es un enfoque transformador de la producción industrial que permite la creación de piezas y sistemas más ligeros y resistentes. AM puede aportar flexibilidad y eficiencia digital a las operaciones de elaboración, y como su nombre lo indica, agrega material para crear un objeto; por el contrario, cuando se obtiene por medios tradicionales, a menudo es necesario eliminar material mediante fresado, mecanizado, tallado, moldeado u otros medios.³⁴

Aunque la impresión 3D se ha utilizado en la fabricación industrial durante décadas, la técnica y equipos utilizados, eran bastante costosos y laboriosos. Con las mejoras, como una mayor precisión, imágenes de alta resolución e impresoras de última generación, en la actualidad se ha convertido en una técnica convencional utilizada en diferentes campos. En diversas áreas, están adoptando la fabricación aditiva, como en industrias, defensa, aeroespacial, arte, medicina y diseño, para la personalización y la producción rápida. Esta tecnología se utiliza para crear un objeto sólido 3D, directamente a partir de los datos CAD digitales bajo control informático.³⁵

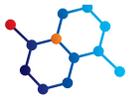
En medicina la impresión 3D (Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)) se usa a menudo para obtener imágenes digitales en la planificación quirúrgica, ejemplo en traumatología, cardiología, neurocirugía y cirugía plástica. A diferencia de un proceso de fabricación sustractiva, AM puede producir directamente estructuras tridimensionales complejas con una precisión mejorada, un proceso simplificado, recursos humanos y materiales económicos, un tiempo de producción más corto; y puede utilizarse en medicina de precisión para lograr necesidades personalizadas.^{36,37}

En los últimos diez años, esta modalidad revolucionaria ha levantado grandes expectativas en el campo de la odontología, sus aplicaciones van desde la prostodoncia, cirugía oral y maxilofacial e implantología oral hasta la ortodoncia, endodoncia y periodoncia. Estos procesos aditivos aportan innovación en la fabricación de implantes dentales personalizados, y con el rápido desarrollo de la tecnología de fabricación digital y de ingeniería, se ha utilizado cada vez más en el campo de las guías quirúrgicas individualizadas hasta las últimas restauraciones personalizadas, coronas, ortodoncia y prótesis removibles y maxilofaciales.^{16, 38-42}

Su aparición ha brindado al profesional capacidades que recientemente se habían restringido a los laboratorios dentales. En los últimos años, la tecnología de impresión 3D se ha vuelto más accesible para los clínicos y les ha permitido brindar a los pacientes tratamientos más precisos, rentables y eficientes en el tiempo.¹⁶

Ahora el odontólogo puede escanear la boca del paciente y enviar directamente por correo electrónico el archivo escaneado al laboratorio de y, por lo tanto, crear un modelo impreso en 3D que se ajuste a la boca del paciente.

La fabricación aditiva (AM) se ha definido como “un proceso de unión de materiales para hacer objetos a partir de datos de modelos 3D, generalmente capa sobre capa, en oposición a las



metodologías de fabricación sustractiva” También se denomina comúnmente tecnología de impresión tridimensional (3D) o fabricación aditiva, procesos aditivos, fabricación de capas aditivas, fabricación digital directa y creación rápida de prototipos.^{38, 43, 44}

La base de la tecnología de impresión 3D son los datos adquiridos de los escáneres ópticos intraorales (IOS) y las imágenes de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). Estos datos luego se convierten en lenguaje de teselación estándar (STL) (patrón que se sigue al recubrir una superficie, evitando la superposición de figuras), cargados en un software de modelado 3D para satisfacer las necesidades de fabricación. El archivo de superficie se divide en un entorno virtual en muchas capas bidimensionales (2D). Luego, una máquina AM usa esas capas 2D del archivo de diseño y crea la trayectoria de la herramienta necesaria a lo largo de las direcciones X e Y para la fabricación directa. Finalmente, cada capa se procesa secuencialmente una encima de la otra para formar una pieza tridimensional.⁴⁴

Después de estas modificaciones, se cargan los archivos en la impresora que elijan. Los tipos más comunes de tecnología de impresión 3D en odontología son la estereolitografía (SLA), el procesamiento de luz digital (DLP) y el chorro de material (MJ). Estas máquinas utilizan técnicas de fabricación aditiva para generar un producto sobre la plataforma de construcción de la impresora, en diferentes tipos de materiales. Una vez que se completa la fabricación, se debe garantizar que el producto esté libre de imperfecciones y curado adecuadamente. La exactitud y la precisión de cada tipo de impresora dependen en gran medida de su calidad 3D, la tecnología, los materiales utilizados, la configuración del software y el proceso de refinamiento posterior a la fabricación. La interconexión de todas estas características afecta la calidad general, más que la diferencia entre las técnicas de fabricación SLA, DLP y MJ.^{16, 45}

Avalando estas propuestas, Son, K., et al. (2021) compararon coronas provisionales fabricadas con las tecnologías de fresado e impresión 3D (SLA y DLP) mostrando que estas últimas pueden reproducir una veracidad superficial más uniforme y superior que la tecnología de fresado.⁴⁶

Técnicas de impresión 3d estereolitografía (SLA) Fue la primera en el mercado para la creación rápida de prototipos. Las ventajas de la estereolitografía incluyen una alta precisión, buen acabado superficial, alta resistencia mecánica y acabado superficial liso. Las desventajas son el costo del equipo, requisito para el post-curado y solo puede ser utilizado para polímeros.^{45, 47-49}

En el proceso de construcción, la plataforma de construcción se sumerge en una resina líquida que se polimeriza mediante un láser UV. Luego, la plataforma de construcción se mueve una distancia equivalente al espesor de una capa, y la resina sin curar cubre la capa anterior. Hay dos formas de mover la plataforma en tecnología SLA. El primero es el movimiento de arriba hacia abajo de la plataforma, una capa de resina cubre la plataforma de construcción que penetra en el depósito. Después de escanear la primera capa con el láser, la plataforma de construcción se mueve hacia abajo y una rueda al lado agrega una nueva capa de resina. El ciclo de construcción se repite hasta que se crea el objeto.

Por el contrario, en el enfoque de plataforma de abajo hacia arriba, la plataforma se sumerge en el fondo del depósito de resina, y

el espacio entre la plataforma y el fondo puede esparcir solo una capa de resina. El láser se coloca en el fondo del depósito y se escaneará la capa de resina. Después del curado, la plataforma aumenta la distancia de una capa y el material de resina puede llenar completamente el espacio entre la plataforma y el fondo debido a la gravedad. El enfoque de plataforma de abajo hacia arriba tiene varias ventajas sobre el de arriba hacia abajo. En el segundo enfoque, la resina está en contacto directo con el oxígeno a medida que se polimeriza, mientras que el fotocurado ocurre en la parte inferior para evitar la interferencia del oxígeno en el enfoque de plataforma de abajo hacia arriba. En segundo lugar, el láser está ubicado en la parte inferior, lo que reduce la posibilidad de que los operadores sufran lesiones. En tercer lugar, la resina se puede rellenar automáticamente debido a la gravedad. Por lo tanto, la mayoría de las impresoras SLA actualmente introducen esta tecnología.^{38,40}

El microsistema de tecnología DLP consiste en una disposición rectangular de espejos, denominada dispositivo microrreflector digital. Cada espejo representa un píxel y la resolución de la imagen proyectada depende del número de espejos. Los ángulos de los microrreflectores se ajustan individualmente. La luz emitida por la fuente de luz es refractada por el microespejo y luego proyectada sobre la superficie para ser impresa como un píxel.

La técnica DLP primero forma piezas verdes mediante el fotocurado de las resinas en suspensión cerámica. Luego, se realizan postratamientos de desaglomerado y sinterizado final para obtener las piezas cerámicas densas. En comparación con otras técnicas de impresión 3D, la técnica DLP tiene ventajas en la formación de objetos pequeños con requisitos de alta precisión, y se considera una técnica preferida para la impresión 3D de prótesis dentales de zirconio. Mei et al., concluyen que La zirconia fabricada por DLP es similar a la tallada, en microestructura, incluida la densidad, el tamaño del grano y la composición de la fase cristalina. La dureza real es un 5 % más baja, lo que puede atribuirse a la existencia de poros grandes en la superficie.⁵⁰

En comparación con escanear la capa secuencialmente usando un láser en la tecnología SLA, la ventaja de DLP es que toda la capa se puede construir con una sola irradiación láser. Como cada capa se construye independientemente de la forma de la capa respectiva o del número de píxeles, el tiempo de construcción se puede reducir. Aunque es muy prometedora, para materiales dentales cerámicos se requiere más trabajo para convertirla en una tecnología generalizada en odontología.^{13,48}

Sinterización selectiva por láser (SLS) se basa en lechos de polvo que contienen partículas de cerámica sueltas como materia prima para construir objetos tridimensionales. Usa un rayo láser de alta potencia para irradiar selectivamente la superficie del lecho de polvo deseado, que luego se calienta y se produce la sinterización. A continuación, se aplica una nueva capa de polvo a la superficie anterior como preparación para la siguiente ronda de calentamiento y unión. Luego, la técnica se repite capa por capa hasta que se completa la pieza 3D planificada.⁵¹

Este proceso puede ser directo e indirecto. En el SLS indirecto, los polvos cerámicos se combinan con un aglutinante polimérico y el láser de barrido funde el aglutinante, que une las partículas cerámicas entre sí. El aglutinante se elimina y las porciones se



densifican durante el posterior sinterizado. En el directo, no se emplea aglutinante polimérico y el rayo láser sinteriza directamente las partículas de cerámica. Si la densidad de energía del láser suministrada es bastante alta, la interacción del láser con las partículas cerámicas inducirá a las partículas a unirse entre sí. Por lo tanto, no se requiere sinterización en horno. La circonia es particularmente difícil para el proceso SLS ya que requiere altas temperaturas y las tensiones térmicas pueden desencadenar la formación de grietas. Se ha expresado que muchos intentos recientes de investigación de cerámica de circonia AM se han centrado en el uso de tecnologías basadas en estereolitografía, como una de las técnicas más prometedoras.^{52, 53}

En la actualidad, Huang, et al., (2022) expresan que todavía existen algunos problemas en el proceso AM de materiales de circonio, como grandes tensiones internas, grietas después de la sinterización y contracción del volumen, que pueden afectar sus propiedades mecánicas y su idoneidad clínica. "Los materiales cerámicos y su tecnología de fabricación aún necesitan más investigación".³⁸

Pero Wang, B, et al., afirman que el procesamiento digital de luz (DLP) es una de las técnicas más prometedoras, ya que presentan acabados superficiales finos y una resolución espacial muy alta. En esta técnica, una suspensión de cerámica se solidifica capa por capa a través de la exposición a la luz ultravioleta y luego la parte impresa se sinteriza para producir una muestra completamente densa. La fabricación aditiva se está convirtiendo rápidamente en una solución superior para muchos desafíos que enfrenta la industria dental, como lo respalda un estudio reciente de 2020 realizado por la Clínica de Odontología Reconstructiva de renombre mundial de la Universidad de Zúrich en Suiza.⁵²

De la misma universidad, compararon carillas oclusales en circonia impresa en 3D, fabricadas con LithaCon 3Y 610 de Lithoz, con circonia fresada y disilicato de litio prensado. Se utilizó un simulador de masticación, y se evaluó las capacidades de carga de los diferentes materiales. Las tres cerámicas superaron fácilmente esta prueba sin complicaciones técnicas.⁵⁴

Más reciente (2021) concluyeron que las carillas oclusales de circonio impresas tridimensionalmente producidas por medio de fabricación de cerámica basada en litografía (LCM) tuvieron una adaptación marginal y precisión de producción similar a la de los métodos convencionales.⁵⁵

También Komissarenko, D, et al. (2021) exploraron la capacidad de impresión de las piezas cerámicas de óxido de circonio estabilizado con escandio, utilizando una impresora 3D DLP de escritorio y de bajo costo;⁵⁶ y en el mismo sentido, Li, R, et al. (2022), en un estudio in vitro concluyeron que las coronas de circonia fabricadas por SLA con una estructura de soporte completo oclusal, tenían una buena veracidad 3D externa y una adaptación clínicamente aceptable.⁵⁷

De lo anterior se desprende que la impresión 3D para fabricar restauraciones dentales de circonia se ha vuelto cada vez más popular, pero la impresión de formas precisas y la obtención de una excelente precisión dimensional siguen también siendo un desafío desde el punto de vista clínico.

CONCLUSIONES

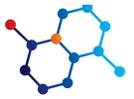
La tendencia de la digitalización es un fenómeno omnipresente en la comunidad dental actual y está asociada a procedimientos de fabricación simplificados, de alta precisión y recursos humanos reducidos. Este proceso tiene el potencial de cambiar la profesión

1. Los sistemas de rehabilitación con cerámica CAD/CAM están en constante evolución para satisfacer las crecientes demandas de restauraciones altamente estéticas, biocompatibles y duraderas. En el consultorio es una inversión financiera significativa que involucra múltiples piezas de tecnología, que puede ser más fácil si está en una práctica grupal. Además, su éxito depende del entusiasmo, disposición para aprender nuevas tecnologías y cambiar procesos previos.
2. Estos métodos también tienen inconvenientes como: curva de aprendizaje, pérdida de material y costo, así como la precisión del procedimiento que puede verse limitada por los factores como la complejidad del objeto y el tamaño de la maquinaria de herramientas y las propiedades del material.
3. La fabricación aditiva, (Additive Manufacturing AM en inglés) también conocida como impresión 3D, puede aportar flexibilidad y eficiencia digital a las operaciones de elaboración, y como su nombre lo indica, agrega material para crear un objeto; esta modalidad ha levantado grandes expectativas en el campo de la odontología,
4. Algunos estudios han demostrado que la impresión 3D, es significativamente mejor que las restauraciones fresadas y podrían ayudar a proporcionar servicios más personalizados, de menor costo y simplificar el complejo flujo de trabajo de producción de los tratamientos dentales.
5. Sin embargo, aún faltan estudios que evalúen las tecnologías con aparatos de estereolitografía (SLA) y procesamiento de luz digital (DLP); pero, las coronas provisionales fabricadas con tecnologías de impresión 3D (SLA y DLP) pueden reproducir una superficie uniforme y superior que la tecnología de fresado.
6. La impresión 3D para fabricar restauraciones de circonia se ha vuelto cada vez más popular; sin embargo, la apariencia estética, la resistencia al desgaste y precisión dimensional son las principales limitaciones clínicas actuales, que se explica por la ausencia de ensayos clínicos de restauraciones dentales definitivas.
7. Esta revisión mostró que la odontología ha demostrado una capacidad increíble para adaptar materiales, métodos y flujos de trabajo, a esta prometedora tecnología digital.



REFERENCIAS

1. Moshaverinia A. Review of the Modern Dental Ceramic Restorative Materials for Esthetic Dentistry in the Minimally Invasive Age. *Dent Clin North Am.* 2020;64(4):621-631.
2. Warreth A, Elkareimi Y. All-ceramic restorations: A review of the literature. *Saudi Dent J.* 2020;32(8):365-372.
3. Marchesi G, Camurri Piloni A, Nicolin V, Turco G, Di Lenarda R. Chairside CAD/CAM Materials: Current Trends of Clinical Uses. *Biology (Basel).* 2021;10(11):1170.
4. Cattoni F, Teté G, Calloni AM, Manazza F, Gastaldi G, Capparè P. Milled versus moulded mock-ups based on the superimposition of 3D meshes from digital oral impressions: a comparative in vitro study in the aesthetic area. *BMC Oral Health.* 2019;19(1):230.
5. Graf, Tobias et al. "Arithmetic Relationship between Fracture Load and Material Thickness of Resin-Based CAD-CAM Restorative Materials." *Polymers* 2021; 14(1):58.
6. Lambert H, Durand JC, Jacquot B, Fages M. Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. *J Adv Prosthodont.* 2017;9(6):486-495.
7. Li, RW, Chow TW, Matinlinna JP. Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art. *J Prosthodont Res.* 2014; 58(4):208-16.
8. Spitznagel FA, Boldt J, Gierthmuehlen PC. CAD/CAM Ceramic Restorative Materials for Natural Teeth. *J Dent Res.* 2018;97(10):1082-1091.
9. Vichi A, Goracci C, Carrabba M, Tozzi G, Louca C. Flexural resistance of CAD-CAM blocks. Part 3: Polymer-based restorative materials for permanent restorations. *Am J Dent.* 2020;33(5):243-247. PMID: 33017526.
10. Rocha Gomes Torres C, Caroline Moreira Andrade A, Valente Pinho Mafetano AP, et al. Computer-aided design and computer-aided manufacturing indirect versus direct composite restorations: A randomized clinical trial. *J Esthet Restor Dent.* 2021 PMID: 34590418.
11. Grzebieluch W, Mikulewicz M, Kaczmarek U. Resin Composite Materials for Chairside CAD/CAM Restorations: A Comparison of Selected Mechanical Properties. *J Healthc Eng.* 2021;2021:8828954.
12. LeSage BP. CAD/CAM: Applications for transitional bonding to restore occlusal vertical dimension. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(2):132-140.
13. Khanlar LN, Salazar Rios A, Tahmaseb A, Zandinejad A. Additive Manufacturing of Zirconia Ceramic and Its Application in Clinical Dentistry: A Review. *Dent J (Basel).* 2021;9(9):104.
14. Christensen GJ. Is now the time to purchase an in-office CAD/CAM device? *J Am Dent Assoc.* 2006;137(2):235-8
15. Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomed Eng Online.* 2016;15(1):115.
16. Turkyilmaz I, Wilkins GN. 3D printing in dentistry - Exploring the new horizons. *J Dent Sci.* 2021;16(3):1037-1038.
17. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=digital+dentistry>
18. Joda T, Ferrari M, Gallucci GO, Wittneben JG, Brägger U. Digital technology in fixed implant prosthodontics. *Periodontol* 2000. 2017;73(1):178-192.
19. Andersson M, Odén A. A new all-ceramic crown. A dense-sintered, high-purity alumina coping with porcelain. *Acta Odontol Scand.* 1993;51(1):59-64.
20. Boening KW, Wolf BH, Schmidt AE, Kästner K, Walter MH. Clinical fit of Procera AllCeram crowns. *J Prosthet Dent.* 2000;84(4):419-24.
21. Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. *Int J Dent.* 2014;2014:783948.
22. Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J.* 2011;56 Suppl 1:97-106.
23. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J.* 2008;204(9):505-11.
24. Caparros C, Duque JA. Cerámicas y sistemas para restauraciones CAD-CAM: una revisión. *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 2010; 22(1): 88-108.
25. Takeuchi Y, Koizumi H, Furuchi M, Sato Y, Ohkubo C, Matsu-mura H. Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and fixed dental prostheses. *J Oral Sci.* 2018;60(1):1-7.
26. Amornvit P, Rokaya D, Sanohkan S. Comparison of Accuracy of Current Ten Intraoral Scanners. *Biomed Res Int.* 2021; 2021:2673040.
27. Harsono M, Simon JF. Evolution of chairside CAD/CAM dentistry. *Inside Dent J.* 2012;8(10).
28. Bühner Samraa, A, et al. CAD/CAM in dentistry – a critical review. *Rev Odonto Cienc* 2016;31(3):140-144
29. Kazama-Koide M, Ohkuma K, Ogura H, Miyagawa Y. A new method for fabricating zirconia copings using a Nd:YVO4 nanosecond laser. *Dent Mater J.* 2014;33(3):422-9.
30. Iwaguro S, Shimoe S, Takenaka H, Wakabayashi Y, Peng TY, Kaku M. Effects of dimensions of laser-milled grid-like microslits on shear bond strength between porcelain or indirect composite resin and zirconia. *J Prosthodont Res.* 2022;66(1):151-160
31. Sadid-Zadeh R, Katsavochristou A, Squires T, Simon M. Accuracy of marginal fit and axial wall contour for lithium disilicate crowns fabricated using three digital workflows. *J Prosthet Dent.* 2020;123(1):121-127.
32. Barndt P, Sterlitz S, Fasbinder, D Tooth Preparation Considerations for CAD/CAM Materials in Restorative Dentistry. *Decisions in dentistry* March 2020.
33. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater.* 2012;28(1):3-12.
34. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *J Prosthodont.* 2017;26(2):156-163.
35. Javaid M, Haleem A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2019;9(3):179-185.
36. Bose S, Ke D, Sahasrabudhe H, Bandyopadhyay A. Additive manufacturing of biomaterials. *Prog Mater Sci.* 2018; 93:45-111.
37. Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: A systematic literature review. *Biomed Eng. Online.* 2016; 15:115.
38. Huang G, Wu L, Hu J, Zhou X, He F, Wan L, Pan ST. Main Applications and Recent Research Progresses of Additive Manufacturing in Dentistry. *Biomed Res Int.* 2022; 2022:5530188.
39. Methani MM, Revilla-León M, Zandinejad A. The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(2):182-192.
40. Tian, Yueyi et al. "A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications." *Scanning* 2021, 9950131.
41. Methani MM, Paulo Francisco Cesar, Ranulfo Benedito de Paula Miranda, et al. Additive Manufacturing in Dentistry: Current



Technologies, Clinical Applications, and Limitations Current Oral Health Reports november 2020

42. Anadioti E, Musharbash L, Blatz MB, Papavasiliou G, Kampsiora P. 3D printed complete removable dental prostheses: a narrative review. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):343.
43. Tay, Y. W., Panda, B., Paul, S. C., Tan, M. J., Qian, S., Leong, K. F., et al. Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing. *Materials Science Forum*, 2016; 861, 177-181.
44. Miyajima H., Zhang S., Lassell A., Zandinejad A., Yang L. Process development of porcelain ceramic material with binder jetting process for dental applications. *Miner. Met. Mater. Soc.* 2016;68(3):831-841
45. Anadioti E., Kane B., Soulas E. Current and emerging applications of 3D printing in restorative dentistry. *Curr Oral Health Rep.* 2018;5(2):133-139
46. Son, Keunbada et al. "Comparison of Intaglio Surface Trueness of Interim Dental Crowns Fabricated with SLA 3D Printing, DLP 3D Printing, and Milling Technologies." *Healthcare (Basel, Switzerland)* 2021; 9(8): 983. .
47. Melchels, FPW, Feijen, J & Grijpma, DW 2010, 'A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering', *Biomaterials*, 31(24): 6121-6130
48. Della Bona A, Cantelli V, Britto VT, Collares KF, Stansbury JW. 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review. *Dent Mater.* 2021;37(2):336-350.
49. Kim GT, Go HB, Yu JH, et al. Cytotoxicity, Colour Stability and Dimensional Accuracy of 3D Printing Resin with Three Different Photoinitiators. *Polymers (Basel)*. 2022;14(5):979.
50. Mei Z, Lu Y, Lou Y, et al. Determination of Hardness and Fracture Toughness of Y-TZP Manufactured by Digital Light Processing through the Indentation Technique *Biomed Res Int.* 2021;2021:6612840..
51. Zhang X., Wu X., Shi J. Additive manufacturing of zirconia ceramics: A state-of-the-art review. *J. Mater. Res. Technol.* 2020;9:9029-9048.
52. Wang, B et al. "The Influence of Microstructure on the Flexural Properties of 3D Printed Zirconia Part via Digital Light Processing Technology." *Materials (Basel, Switzerland)* 2022; 15(4): 1602.
53. Hegedus T, Kreuter P, Kismarci-Antalfy AA, Demeter T, Banyai D, Vegh A, Geczi Z, Hermann P, Payer M, Zsembergy A, Al-Hassiny A, Mukaddam K, Herber V, Jakse N, Vegh D. User Experience and Sustainability of 3D Printing in Dentistry. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(4):1921.
54. Ioannidis A, Bomze D, Hämmerle CHF, Hüsler J, Birrer O, Mühlemann S. Load-bearing capacity of CAD/CAM 3D-printed zirconia, CAD/CAM milled zirconia, and heat-pressed lithium disilicate ultra-thin occlusal veneers on molars. *Dent Mater.* 2020; 36(4): e109-e116.
55. Ioannidis A, Park JM, Hüsler J, Bomze D, Mühlemann S, Özcan M. An in vitro comparison of the marginal and internal adaptation of ultrathin occlusal veneers made of 3D-printed zirconia, milled zirconia, and heat-pressed lithium disilicate. *J Prosthet Dent.* 2021; S0022-3913(20)30722-8.
56. Komissarenko, Da Sokolov P a. Evstigneeva D, et al. DLP 3D printing of scandia-stabilized zirconia ceramics *J Europ Ceramic Society.* 2021; 41(1):684-690
57. Li R, Xu T, Wang Y, Sun Y. Accuracy of zirconia crowns manufactured by stereolithography with an occlusal full-supporting structure: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2022 Feb 16;S0022-3913(22)00064-6.