



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
CARRERA DE ODONTOLOGÍA

TEMA:

“IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL EN ODONTOLOGÍA”

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Odontóloga

Autora: Miraglla Lizeth Inca Cargua

Tutor: Dr. Manuel Alejandro León Velasteguí

Riobamba – Ecuador

2020

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL

Los miembros del tribunal de revisión del proyecto de investigación: “**IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL EN ODONTOLOGÍA**”, presentado por la **Srta. Miraglla Lizeth Inca Cargua** y dirigido por el **Dr. Manuel Alejandro León Velasteguí**, una vez revisado el proyecto de investigación con fines de graduación, escrito en el cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, se procede a la calificación del informe del proyecto de investigación.

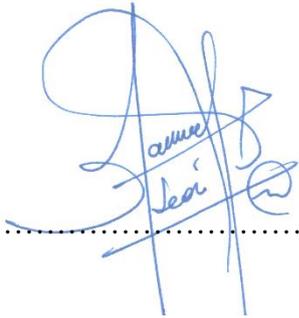
Por la constancia de lo expuesto:

Firma:

Dr. Manuel Alejandro León

Velasteguí

TUTOR

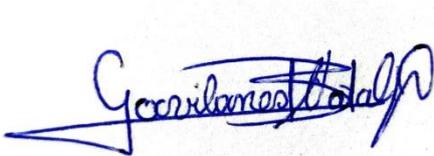


.....

Dra. Natalia Gavilanes

Bayas

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....

Dr. Cristian Roberto Sigcho

Romero

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

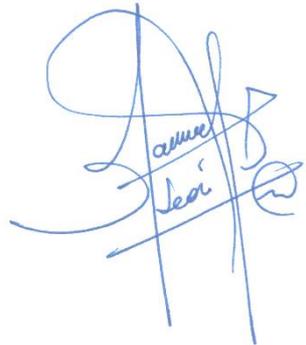


.....

CERTIFICADO DEL TUTOR

La suscrita docente tutora de la Carrera de Odontología, de la Facultad de Ciencias de la Salud, de la Universidad Nacional de Chimborazo, **Dr. Manuel Alejandro León Velasteguí**, certifica que la señorita **Miraglia Lizeth Inca Cargua** con C.I: **0605677855**, se encuentra apto para la presentación del proyecto de investigación: **“IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL EN ODONTOLOGÍA”** y para que conste a los efectos oportunos, expido el presente certificado, a petición de la persona interesada, en la ciudad de Riobamba.

Atentamente,



Dr. Manuel Alejandro León Velasteguí

CI. 0603124637

DOCENTE TUTOR

AUTORÍA

Yo, **Miraglla Lizeth Inca Cargua**, portadora de la cédula de ciudadanía número 0605677855, por medio del presente documento certifico que el contenido de este proyecto de investigación es de mi autoría, por lo que eximo expresamente a la Universidad Nacional de Chimborazo y a sus representantes jurídicos de posibles acciones legales por el contenido de la misma. Asimismo, autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo para que realice la digitalización y difusión pública de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.



Miraglla Lizeth Inca Cargua

C.I.: 0605677855

ESTUDIANTE UNACH

AGRADECIMIENTO

A Dios le debo todo porque diseñó cada detalle de mi vida perfectamente, pues no ha sido destino ni casualidad, sino su voluntad. A mis amados padres Martha y Alonso por haberme regalado el don de la vida, por el amor que día a día me brindan, por sus enseñanzas en valores, porque ustedes son mi soporte, apoyo incondicional y me han entregado la herramienta más importante que el ser humano puede llegar a tener: la educación.

A mi esposo José, quién a pesar de las dificultades me ha impulsado a ser mejor persona y profesional, demostrándome que con trabajo, esfuerzo y sacrificio se puede lograr todo aquello que anhelamos.

A mi querida hija Annin, quién me impulsa a ser mejor y me recuerda que yo soy su ejemplo como lo fueron mis padres conmigo.

Mi eterna gratitud al Dr. Manuel León, por compartirme sus conocimientos, sabiduría y humildad, pues me enseñó a amar mi profesión. A la Universidad Nacional de Chimborazo por darme la oportunidad de formarme en sus aulas y llevarme los mejores recuerdos compartidos con mis amigos.

Miraglla Lizeth Inca Cargua.

DEDICATORIA

Dentro de las aulas universitarias he recorrido parte de mi vida con el afán de obtener conocimientos para mi vida profesional, pero mientras lo hacía descubrí que en la vida trabajar en solitario no te dan los mismos resultados si lo realizas en compañía; por ello, este trabajo de investigación que me ha costado hasta las lágrimas, quiero dedicar a mis padres: Martha y Alonso, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes, sus reglas y libertades hoy se han hecho realidad.

A mi esposo José y mi adorada hija Annin, mi pequeña familia, porque me dieron la oportunidad de estudiar, por darme espacio para realizar mis obligaciones académicas y comprender mis ausencias en momentos importantes. Les amo.

A mis abuelitos Luis y Piedad porque siempre me brindaron una palabra de aliento para llegar a culminar mi carrera profesional.

Miraglla Lizeth Inca Cargua

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGIA	5
2.1 Criterios de Inclusión y Exclusión	5
2.2 Estrategia de Búsqueda.....	5
2.3 Tipo de estudio	6
2.3.1 Métodos, procedimientos y población.....	6
2.3.2 Instrumentos	7
2.3.3 Selección de palabras clave o descriptores.....	7
2.4 Valoración de la calidad de estudios.	9
2.4.1 Número de publicaciones por año	9
2.4.2 Número de publicaciones por ACC (Average Citation Count).....	10
2.4.3 Número de artículos por factor de impacto (SJR)	11
2.4.4 Promedio de conteo de citas (ACC) por cuartil y base de datos	12
2.4.5 Áreas de aplicación, ACC y cuartil	13
2.4.6 Número de publicaciones por tipo de estudio, colección de datos y tipo de publicación.	14
2.4.7 Relación entre el cuartil, área y base de datos.....	15
2.4.8 Valoración de artículos por área.....	17
2.4.9 Área de aplicación por ACC y Factor de Impacto	18
2.4.10 Frecuencia de artículos por año y bases de datos	19
2.4.11 Artículos científicos según la base de datos	20
2.4.12. Lugar de procedencia de los artículos científicos.....	21
2.4.13 Número de artículos con ACC válido por país.....	22
3. RESULTADOS	23
3.1 Historia de la impresión tridimensional	23

3.2 Concepto de impresión tridimensional	25
3.3 Características de la impresión tridimensional	25
3.4 Tecnología de impresión tridimensional en odontología	26
3.4 Técnicas de impresión	26
3.4.1 Esteriolitografía (SLA, SL)	27
3.4.2 Inyección de fotopolímero (PPJ)	27
3.4.3 Impresoras de aglutinantes en polvo (PBP).....	28
3.4.4 Sinterización selectiva por láser (SLS).....	28
3.4.5 Modelado de deposición fundida (FDM)	30
3.5 Aplicaciones de la impresión tridimensional en las diferentes áreas de odontología ...	32
3.5.1 Cirugía oral y Maxilofacial	32
3.5.2 Prostodoncia	33
3.5.3 Ortodoncia	35
3.5.3.2 Enfoques clínicos.....	36
3.5.4 Endodoncia	37
3.5.5 Periodoncia	39
3.6 Ventajas y desventajas de la impresión tridimensional en odontología	41
3.7 Perspectiva a futuro de la impresión tridimensional en odontología.....	44
4. DISCUSIÓN	45
5. CONCLUSIONES	48
6. PROPUESTA.....	49
7. BIBLIOGRAFÍA	50
8. ANEXOS	58
7.1 Anexo 1. Tabla de caracterización de artículos científicos escogidos para la revisión.	58
7.2 Anexo 2. Tabla de meta análisis utilizada para la revisión sistemática.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nro. 1. Términos de búsqueda y extracción de utilización en las bases de datos.....	7
Tabla Nro. 2. Número de publicaciones por tipo de estudio, colección de datos y tipo de publicación.	14
Tabla Nro. 3. Cuartil, área y base de datos	15
Tabla Nro. 4. Valoración de artículos por área	17
Tabla Nro. 5. Área de aplicación por Average Count Citation (ACC) y Factor de Impacto	18
Tabla Nro. 6. Técnicas de impresión tridimensional	31
Tabla Nro. 7. Aplicaciones de la impresión tridimensional en odontología	40
Tabla Nro. 8. Ventajas y desventajas de la impresión tridimensional en odontología	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico Nro. 1. Metodología con escala y algoritmo de búsqueda.....	8
Gráfico Nro. 2. Número de publicaciones por año	9
Gráfico Nro. 3. Número de publicaciones por Average Count Citation (ACC).....	10
Gráfico Nro. 4. Número de artículos por factor de impacto..	11
Gráfico Nro. 5. Average Count Citation (ACC) por cuartil y base de datos	12
Gráfico Nro. 6. Áreas de aplicación, número de citas y bases de datos	13
Gráfico Nro. 7. Frecuencia de artículos por año y bases de datos	19
Gráfico Nro. 8. Artículos científicos según la base de datos	20
Gráfico Nro. 9. Lugar de procedencia de los artículos científicos	21
Gráfico Nro. 10. Número de artículos con Average Count Citation (ACC) válido por país	22
Gráfico Nro. 11. Historia de la impresión tridimensional	24

RESUMEN

La finalidad de la presente investigación fue realizar un análisis sobre los aportes de la impresión tridimensional en odontología, sus aplicaciones, además de sus ventajas y limitaciones. Este estudio se basó en la revisión bibliográfica de artículos científicos publicados en los últimos 10 años, recopilados en bases de datos como PubMed, Google Scholar y Elsevier. Mediante los criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron 100 artículos, de los cuales se seleccionaron los que contaban con promedio de conteo de citas ACC mayor a 1,5 y factor de impacto Scimago Journal Raking SJR, dando como resultado 85 artículos en total para la revisión de la literatura. Después del análisis de los artículos científicos se encontró que la impresión 3D ha sido aclamada como la tercera revolución industrial debido a que esta tecnología ha provocado un cambio en la forma en que se elaboran los objetos, donde un objeto tridimensional es creado agregando múltiples capas a la vez. Las principales áreas de la odontología en las que se puede utilizar la impresión tridimensional fueron cirugía oral y maxilofacial, protodoncia, ortodoncia, endodoncia y periodoncia, las ventajas que tiene la impresión tridimensional incluyen la utilización de modelos anatómicos personalizados para la planificación de tratamientos complejos y la reproducción de implantes precisos, mejor calidad en modelos de estudio y férulas de ortodoncia. Sus limitaciones fueron el costo de funcionamiento, los materiales, el mantenimiento y la necesidad de operadores capacitados, así como la necesidad de posprocesamiento y el cumplimiento de estrictos protocolos de salud y seguridad.

Palabras clave: impresión tridimensional, fabricación aditiva, CAD-CAM

ABSTRACT

The purpose of the present investigation was to carry out an analysis on the contributions of three-dimensional impression in dentistry, its applications, as well as its advantages and limitations. This study was based on the bibliographic review of scientific articles published in the last 10 years, compiled in databases such as PubMed, Google Scholar and Elsevier. Using the inclusion and exclusion criteria, 100 articles were obtained, of which those with an average ACC citations count greater than 1.5 and an impact factor Scimago Journal Raking SJR were selected, resulting in 85 articles in total for the review of the literature. After the analysis of scientific articles, it was found that 3D printing has been hailed as the third industrial revolution because this technology has caused a change in the way objects are made, where a three-dimensional object is created by adding multiple layers to the time. The main areas of dentistry in which 3D printing can be used were oral and maxillofacial surgery, prosthodontics, orthodontics, endodontics and periodontics, the advantages of 3D printing include the use of customized anatomical models for planning complex treatments and the reproduction of precise implants, better quality in study models and orthodontic splints. Its limitations were cost of operation, materials, maintenance and the need for trained operators, as well as the need for post-processing and adherence to strict health and safety protocols.

Keywords: three-dimensional printing, additive manufacturing, CAD-CAM

Reviewed by: Mgs. Marcela González Robalino **English Professor c.c. 0603017708**

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo investigativo denota amplio interés en el ámbito profesional y académico en odontología, la impresión tridimensional en odontología es un tema considerado en los últimos tiempos como un aporte tecnológico de gran auge en las diversas áreas de la profesión, debido a que durante los últimos 30 años, la impresión tridimensional y la creación de prototipos han ganado popularidad entre los profesionales odontólogos y los pacientes por igual, puesto que proporciona comodidad y mejor calidad a los trabajos de los dentistas.

La impresión tridimensional en odontología abarca dos conceptos principales: la aplicación del diseño asistido por computadora (CAD) y la fabricación asistida por computadora (CAM), mismos que han progresado fuertemente en este campo durante las últimas décadas. Han llevado al desarrollo de nuevas clases de materiales y a la digitalización y automatización de varios procesos de trabajo. Durante los últimos 30 años, la impresión tridimensional y la creación de prototipos han ganado popularidad dentro de la profesión y entre los pacientes por igual. Ha proporcionado comodidad y mejor calidad de restauración a los dentistas. Además, las restauraciones dentales, que se producen mediante la creación rápida de prototipos, son más adaptables y de producción más rápida en comparación con las restauraciones creadas por los técnicos dentales.⁽¹⁾⁽²⁾

La misma consiste en colocar sucesivas capas de material de diferentes formas, cada una impresa directamente sobre la anterior según un programa informático. La impresión tridimensional como tecnología aditiva es diferente de las técnicas de fabricaciones tradicionales, que son procesos atractivos en los que el material se elimina mediante métodos como el corte o la perforación. Desde la aparición de la impresión tridimensional, la personalización se ha convertido en una realidad factible, es posible crear implantes personalizados en una fracción del tiempo y el costo que originalmente implicaba debido a la versatilidad del proceso de impresión tridimensional.⁽¹⁾⁽³⁾

Si bien es cierto que los sectores automovilísticos y el arte se han beneficiado considerablemente, el principal sector que tiene una gran participación en la industria de la impresión 3D es el de los dispositivos médicos. Esto se debe principalmente a que cada persona tiene una anatomía diferente a comparación con otras y el uso de un implante producido en serie conduce a un compromiso significativo en el tiempo de recuperación y

la precisión anatómica, por lo tanto, existe la necesidad de fabricar dispositivos e implantes personalizados. Por ejemplo, los implantes o prótesis se imprimen en 3D para el cuerpo de un usuario específico, optimizando la tecnología para que funcione para un individuo, no para un usuario promedio, como ocurre con la mayoría de los productos producidos en masa. Cabe destacar que, contrariamente a los casos más conocidos de medicina personalizada que tratan con moléculas de fármacos y sus correspondientes sitios activos, y por tanto a nanoescala, las aplicaciones de la impresión tridimensional son desarrolladas precisamente para las necesidades de un paciente que se encuentra en la macroescala.⁽¹⁾⁽⁴⁾

Un estudio realizado por Stansbury et al., 2015, en la universidad de Colorado en Estados Unidos acerca de la impresión tridimensional con polímeros y sus desafíos entre la expansión de opciones y oportunidades, informa que el crecimiento reciente de la impresión 3D ha sido espectacular y la capacidad de las diversas tecnologías de plataforma para expandirse desde modelos prototípicos de producción rápida hasta un mayor volumen de producción fácilmente personalizable de piezas de trabajo es fundamental para lograr tasas de crecimiento altas y continuas. Concluyendo que la transición a la producción de piezas de trabajo depende en gran medida de la adaptación de materiales que brinden no solo la precisión de diseño requerida, sino también las propiedades físicas y mecánicas necesarias para la aplicación.⁽⁵⁾

En Latinoamérica, específicamente en Chile, se publicó un artículo escrito por Velasco et al., 2017, el cual trata acerca del manejo quirúrgico de tumor mandibular asistido con la tecnología de impresión tridimensional, donde presentaron el caso clínico de una paciente de 30 años con historial de tumoración en la mandíbula en el sector anterior, con 2 años de evolución, del cual la biopsia incisional confirmó que se trataba de un fibroma osificante. Los autores informan que los modelos creados con la tecnología de impresión 3D son una herramienta efectiva en la planificación de resecciones mandibulares por patología tumoral, no solo sirven para la planificación del tratamiento y para la producción de hardware individualizado, sino que además son una ayuda para la educación del paciente, mejoran la calidad diagnóstica e incluso pueden ser usados en simulación preoperatoria.⁽⁶⁾

En Ecuador, un estudio realizado por García et al., 2019, acerca del uso de un JIG de verificación para determinar la posición de los implantes dentales en modelos impresos en 3D, en el cual se evaluó el uso de un JIG de verificación para corregir la posición de los implantes dentales en un modelo impreso en 3D y comparar su precisión con los modelos

dentales obtenidos por impresión convencional, encontrando un error de medición estadísticamente mayor ($p \leq 0.05$) para los modelos impresos en 3D en comparación con los modelos convencionales, con una diferencia media de 47 μm , concluyendo que el uso de un JIG de verificación para colocar implantes dentales en un modelo impreso en 3D mostró mayores discrepancias en comparación con las impresiones convencionales.⁽⁷⁾

En los últimos años, el desarrollo de la impresión tridimensional para aplicaciones médicas y dentales se ha incrementado notablemente. El avance en la impresión 3D para la medicina y la odontología surge de la posibilidad de la fabricación de productos individualizados, además de producir ahorros en producciones que se realizan pequeña escala, así mismo, el intercambio y procesamiento de datos de imágenes de pacientes y la actualización educativa es sumamente más fácil.⁽⁵⁾

Al observar las especialidades dentales, se hace evidente que la atención en la impresión 3D se centra en aplicaciones en cirugía oral y prostodoncia, seguida de ortodoncia, mientras que hay un número limitado de publicaciones sobre aplicaciones en periodoncia y endodoncia. Los usos de la impresión 3D incluyen la producción de guías de broca para implantes dentales, la producción de modelos físicos para prostodoncia, ortodoncia y cirugía, la fabricación de implantes dentales, craneomaxilofaciales y ortopédicos, y la fabricación de cofias y estructuras para implantes y restauraciones dentales.⁽⁵⁾⁽⁸⁾

Además, tras la creciente atención hacia estos métodos de impresión 3D en la última década, su utilización en medicina regenerativa, ingeniería de tejidos e investigación se ha convertido en los campos de interés más investigados. La bioimpresión que utiliza bioimpresoras basadas en tinta celular se ha desarrollado para generar "tejidos" artificiales y se ha demostrado que permite la configuración de modelos complejos en 3D in vitro.⁽⁹⁾

Todo el avance de la impresión tridimensional en odontología se refleja en el creciente número de publicaciones sobre este tema. El número de publicaciones para la impresión 3D en general, en medicina y en odontología en particular aumentó considerablemente durante los últimos 10 años, lo que hace que este tema de investigación sea de particular interés para todos los odontólogos, debido a que la impresión tridimensional es el futuro de la odontología en general.⁽⁹⁾

El presente proyecto enfoca su importancia en la implementación tecnológica de la impresión tridimensional en el campo de la odontología, considerando que la

personalización en los tratamientos odontológicos se ha convertido en una realidad factible, por lo mismo, los profesionales odontólogos y los estudiantes de odontología deben mejorar los conocimientos acerca de este tema, para así atribuir en el diagnóstico y tratamiento de manera vertiginosa en la cual los pacientes mejoren la calidad de vida y la detección temprana de enfermedades.

El aporte investigativo del presente trabajo subyace en la recopilación de artículos científicos procedentes de bases de datos de prestigio académico, lo que pretende mejorar el conocimiento acerca de las diferentes aplicaciones de la impresión tridimensional en odontología con el objetivo de obtener datos actuales sobre los avances de ciencia, tecnología y técnica más utilizados en los últimos años en el área de odontología.

Los avances tecnológicos de la impresión 3D contribuye a mejorar la dificultad de la planificación y el manejo del tiempo operatorio dental del paciente enfocado en el diagnóstico y tratamiento donde nos permiten una mayor visualización mucho más exacta y precisa de una posible enfermedad. En la actualidad el auge de la impresión 3D, está en todo su potencial tecnológico por lo tanto sus aplicaciones son cada vez más actuales y ofrecen ciertos beneficios donde se investigará temas netamente de interés académico científicos y que puede aportar mucha utilidad al estudiante en cuanto a información.

La presente investigación es pertinente porque cuenta con los recursos bibliográficos necesarios, tales como, artículos científicos recopilados de bases de prestigio académico que son adecuados para el desarrollo de este estudio, también es factible debido al apoyo del docente tutor especializado en el área, además de los recursos técnicos y las líneas de la investigación que corresponden al requerimiento de la universidad en el proceso de investigación.

Los beneficiarios directos de la realización de la presente investigación son los estudiantes que mediante la difusión del presente trabajo van a tener una visión clara de la aplicación de los modelos 3D y como pueden brindar una planificación más adecuada de los tratamientos con los pacientes.

Para fines de la presente investigación se realizará un análisis sobre los aportes de la impresión tridimensional en odontología, estableciendo sus aplicaciones en esta área, determinando además sus ventajas y desventajas, para finalmente establecer el ámbito de utilidad de este elemento tecnológico en el área de la odontología.

2. METODOLOGIA

La investigación se realizará en función de una revisión bibliográfica relacionada con artículos científicos de salud, propios del área de odontología, mismos que fueron difundidos por revistas indexadas, durante el período comprendido entre los años 2010-2020, procedentes de bases de datos de prestigio académico como Google Scholar, PubMed, Elsevier y Springer Link, enfocados en las variables independiente (impresión tridimensional), y dependiente (odontología).

2.1 Criterios de Inclusión y Exclusión

Criterios de inclusión:

Publicaciones Académicas validadas y relevantes sobre la impresión tridimensional en odontología.

Artículos de revisión bibliográfica, investigaciones, publicados en revistas científicas, correspondientes a los últimos 10 años.

Publicaciones de revisiones sistemáticas y metaanálisis libre de pago.

Artículos científicos publicados en idioma inglés y español

Publicaciones académicas que cumplan con ACC (Average Count Citation) y el factor de impacto SJR (Scimago Journal Raking).

Criterios de exclusión:

Estudios basados en experimentos de animales en sus investigaciones

2.2 Estrategia de Búsqueda

Para efectos del desarrollo de la revisión de la literatura de forma sistemática se usó métodos como la observación y el análisis, en la cual la implementación de la investigación se efectuó mediante la interpretación y revisión de la literatura, se buscó información a través de un escrutinio exhaustivo y sistemático de artículos académicos en la siguientes bases de datos científicas, tales como, PubMed, Elsevier, Springer Link, Google Scholar, de los cuales en base a criterios de inclusión y exclusión fueron eplejidos en función de su cantidad de citas (ACC) mayor a 1.5 y el factor de impacto SJR de la

revista en la que fue publicado el artículo. Estos factores fueron relevantes al momento de la elección de la literatura para su análisis, misma que se ajustó a los objetivos propuestos en el estudio.

2.3 Tipo de estudio

Estudio descriptivo: en esta investigación se utilizó herramientas de clasificación para ordenar de manera sistemática la información adquirida de los artículos científicos, con lo que se identificó, determinó, y se analizó la impresión tridimensional en odontología, por lo que los resultados se orientaron a establecer las variables ya explicadas.

Estudio transversal: por medio de la búsqueda de artículos científicos con validez académica del período de tiempo de los últimos 10 años de publicación del artículo, se determinó el estudio y análisis de información enfocada en la impresión tridimensional en odontología.

Estudio retrospectivo: se adjuntó toda la información acerca de la impresión tridimensional en odontología, basándose en los artículos científicos provenientes de bases de datos publicados retrospectivamente con 10 años atrás.

2.3.1 Métodos, procedimientos y población

La búsqueda de la información se realizó a partir de las investigaciones de artículos científicos difundidos por bases de datos científicas tales como Google Scholar, Pubmed, Elsevier, Springer Link, mismos que fueron publicados entre los años 2010 y 2020. Los artículos fueron elegidos con base en los criterios de exclusión e inclusión, además se tomó en cuenta el Average Count Citation (ACC), que se define como el promedio de conteo de citas que posee un artículo y los años de vida útil, siendo el promedio mayor a 1,5 lo que asegura la validez académica del mismo. Para añadir calidad científica a la investigación se utilizó el factor de impacto Scimago Journal Ranking (SJR), que hace referencia a la revista de donde proviene el artículo científico, en donde las revistas académicas se disponen en cuatro cuartiles, siendo Q1 el que señala el valor más alto, Q2 determina el segundo valor alto, Q3 expresa el tercer valor alto y Q4 señala el valor más bajo.

La búsqueda primaria presentó como resultado un conteo de 4805 artículos, luego de aplicarse los criterios de exclusión e inclusión el resultado se redujo a 2468 artículos los

cuales se redujeron a 356 mediante el análisis de sus resúmenes y pertinencia al tema con las palabras clave impresión tridimensional en odontología, aplicaciones de la impresión tridimensional en odontología. En base a los criterios fueron seleccionados 100 artículos, para después, realizar la selección basada en el promedio de conteo de citas (ACC), este implica una fórmula que ayuda a medir el grado de impacto del artículo, basándose en las citas realizadas en Google Scholar, para posteriormente dividir para los años de validez del artículo a partir de su publicación, en la presente revisión el promedio ACC mínimo fue de 1,5. Mediante el ACC se obtuvieron 78 artículos válidos, los cuales se implementaron para el estudio y resultado de la investigación, además se utilizará referentes bibliográficos para el componente complementario del proceso investigativo.

2.3.2 Instrumentos

Matriz para revisión bibliográfica

Lista de cotejo

2.3.3 Selección de palabras clave o descriptores

Descriptores de búsqueda: se usaron los términos: impresión tridimensional en odontología, aplicaciones de la impresión tridimensional en odontología.

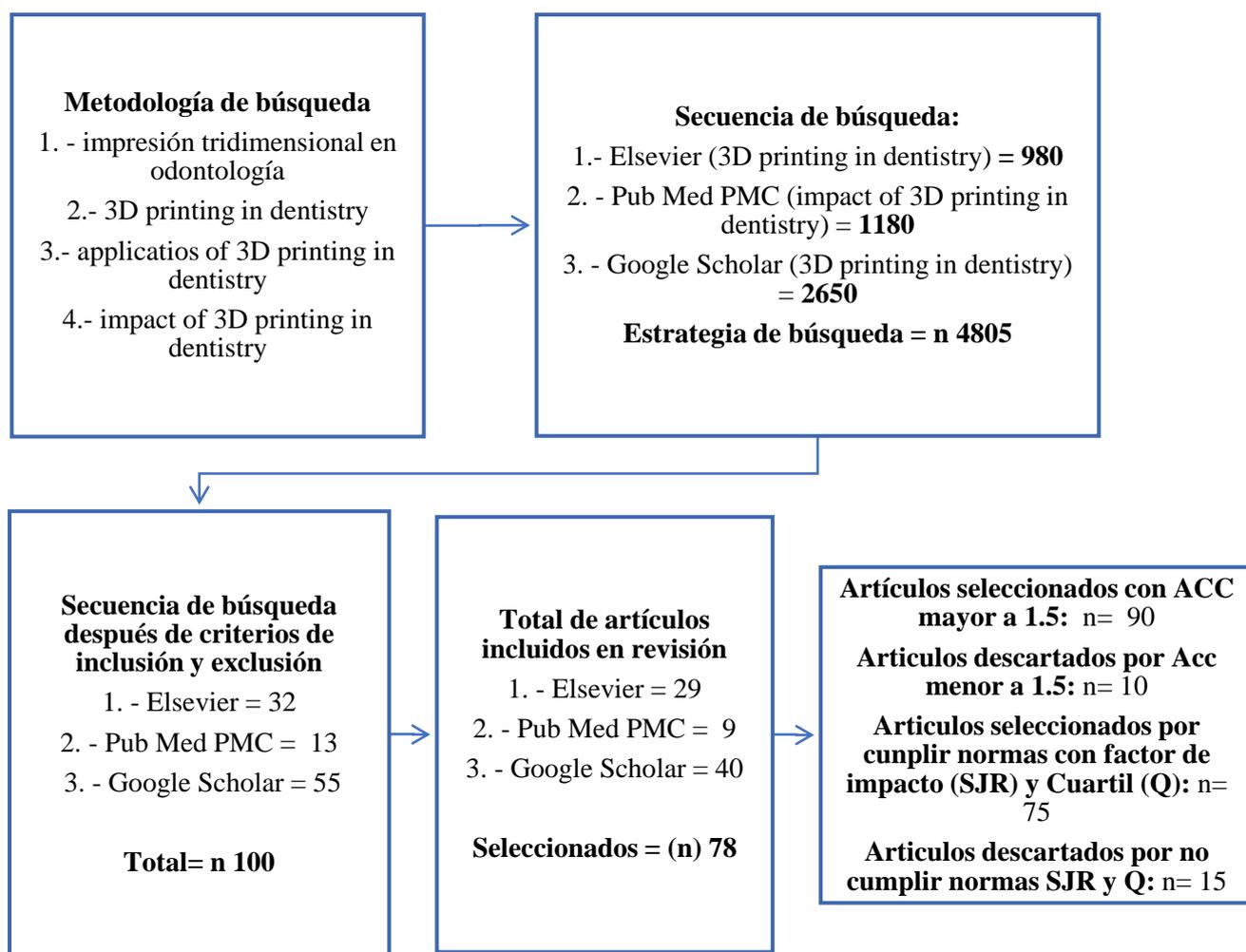
Se emplearon operadores lógicos para la revisión de los datos: AND, IN, los que junto con las palabras clave, aportaron a la selección de artículos útiles para el estudio.

Tabla Nro. 1. Términos de búsqueda y extracción de utilización en las bases de datos.

FUENTE	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA
Google Scholar	Impresión tridimensional en odontología
	3D printing in dentistry
PubMed (PMC)	impact of 3D printing in odontology
	Applications of 3D printing in odontology
Elsevier	3D printing in dentistry
	Applications of 3D printing in odontology
Springer link	3D printing in dentistry

Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

Gráfico Nro. 1. Metodología con escala y algoritmo de búsqueda.



Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

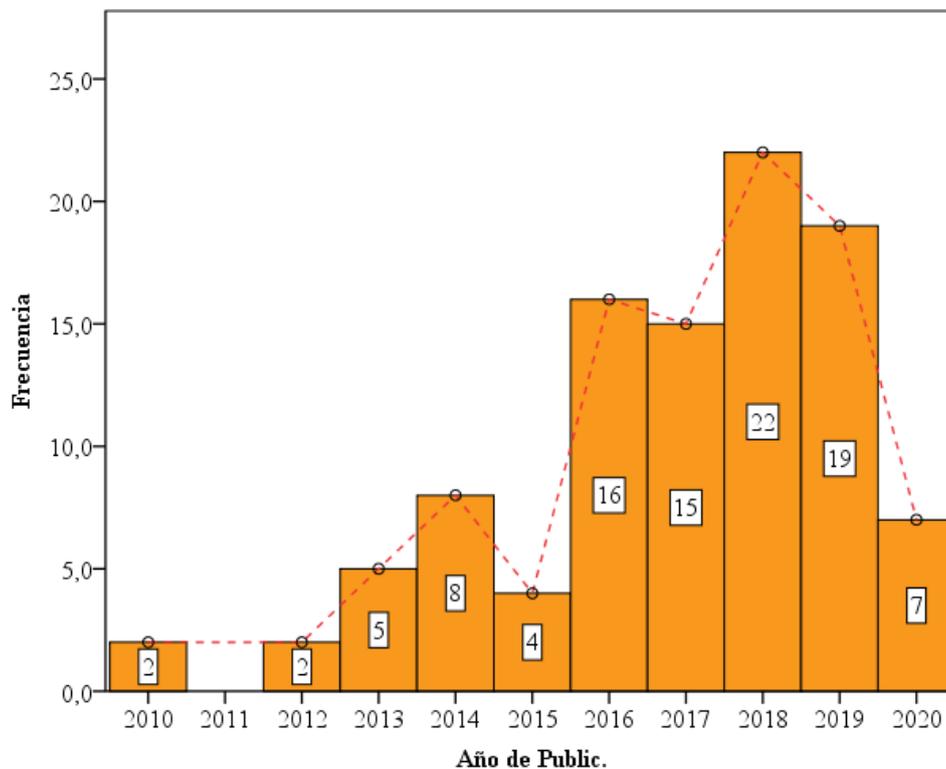
La muestra del presente estudio fue intencional no probabilística y se enfocó en los métodos inductivos y deductivos, los cuales se hallaron en función de la búsqueda, análisis, interpretación, y comprensión de los artículos científicos provenientes de bases de datos de relevancia académica, publicados los últimos 10 años (2010–2020), fundamentados en las variables independiente (impresión tridimensional) y dependiente (odontología). El presente estudio fue de carácter documental, motivo por el cual se utilizó tablas de revisión sistemática de la información y una matriz de caracterización.

2.4 Valoración de la calidad de estudios.

2.4.1 Número de publicaciones por año

El **Gráfico Nro. 2** hace referencia al número de artículos científicos acerca de la impresión tridimensional en odontología, publicados en los últimos 10 años (2010-2020). Se tomaron en cuenta las publicaciones que contaron con un promedio de conteo de citas (ACC) mayor a 1.5, además de los artículos científicos con factor de impacto Scimago Journal Ranking (SJR). Observando como resultado 78 artículos científicos que contaron con todos los parámetros especificados para la realización del presente estudio. En el año 2010 y 2012 se recopilaron 2 artículos científicos respectivamente, en el año 2013 se obtuvo 5 artículos, en el año 2014 se presentó un total de 8 artículos, en el año 2015 se obtuvo 4 artículos, en el año 2016 se recopilaron 16 artículos, en el año 2017 se captaron 15 artículos científicos, en el año 2018 se recopiló un total de 22 artículos siendo el año de mayor publicación acerca del tema, en el año 2019 se obtuvieron 19 artículos y en el año 2020 se recopiló un total de 7 artículos científicos.

Gráfico Nro. 2. Número de publicaciones por año.



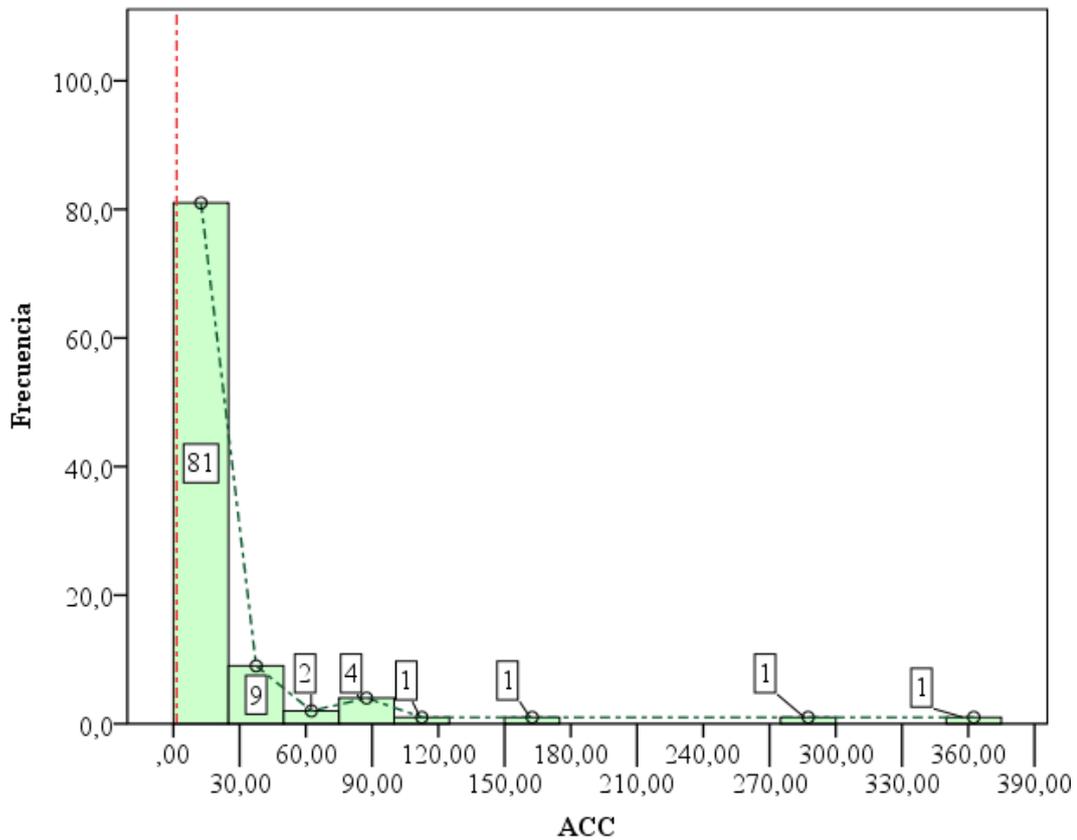
Fuente: Revisión general de artículos procesado en SPSS v25.

Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.2 Número de publicaciones por ACC (Average Citation Count)

El **Gráfico Nro. 3** se muestra al número de artículos científicos relacionados con el promedio de conteo de citas (ACC), haciendo énfasis en los criterios de inclusión y exclusión se recopiló un total de 100 artículos científicos para realizar el presente estudio. Un total de 81 artículos científicos presentaron un promedio de conteo de citas (ACC) que va desde 0 a 24. Se recopilaron 9 artículos con ACC que oscila entre 24.4 a 42. Se obtuvo 2 artículos con ACC de 62.28 a 72. Un total de 4 artículos recopilados presentaron ACC de 75 a 99, además se presentaron valores altos de ACC en 4 artículos científicos cuyos valores oscilan entre 114.75 y 360.40, valores que aportan validez científica al presente estudio.

Gráfico Nro. 3. Número de publicaciones por ACC.



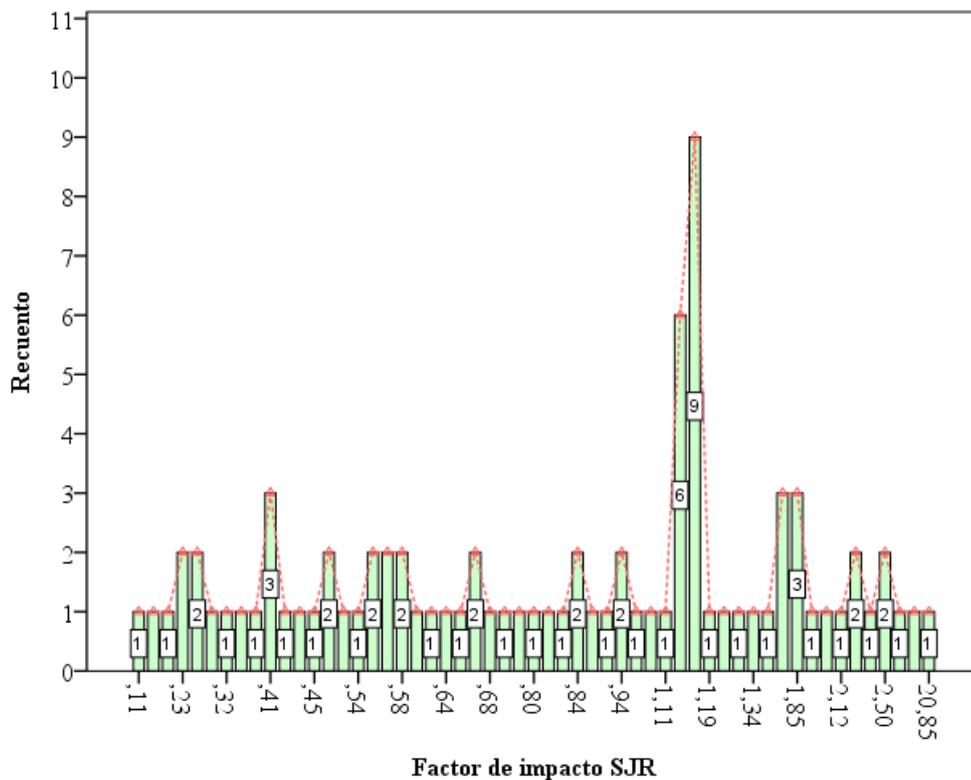
Fuente: Revisión general de artículos procesado en SPSS v25.

Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.3 Número de artículos por factor de impacto (SJR)

En el **Gráfico Nro.4** se destacó el número de artículos por factor de impacto, el cual aportó significativamente a la validez científica de cada artículo. Se obtuvo un total de 15 artículos científicos con un promedio entre 1.11 y 1.19, seguido de una frecuencia de 3 artículos con un promedio de 0.41 y 1.85 respectivamente. El número de artículos con una frecuencia menor a 3 alcanzaron valores entre 0.11 y 2.85. El factor de impacto SJR fue de gran importancia al momento de validar los artículos científicos odontológicos.

Gráfico Nro. 4. Número de artículos por factor de impacto.

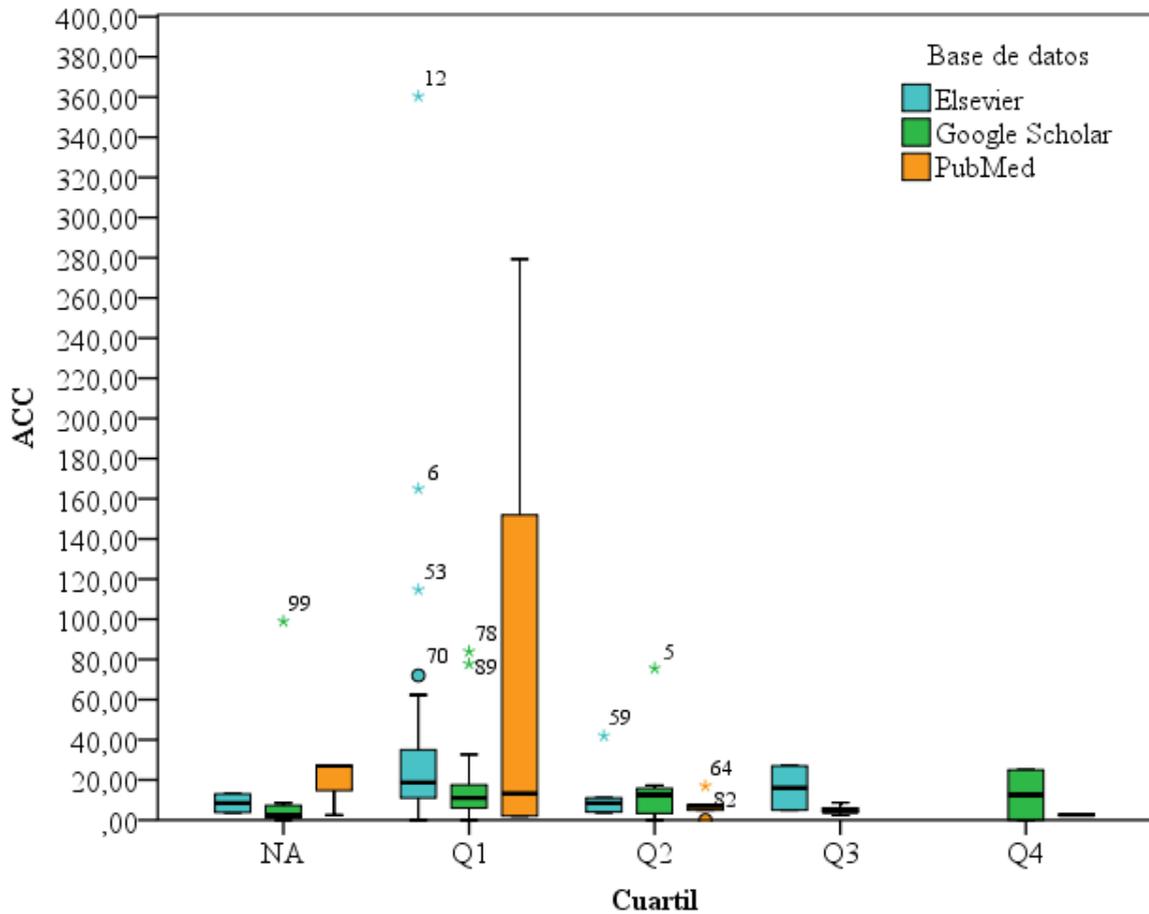


Fuente: Revisión general de artículos procesado en SPSS v25.
Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.4 Promedio de conteo de citas (ACC) por cuartil y base de datos

El Gráfico Nro. 5 muestra el promedio de conteo de citas (ACC) por cuartil y base de datos, el cuartil se define como la ubicación del promedio de cada revista indexada, clasificándolo como Q1 el más alto y Q4 el más bajo. En el gráfico se puede observar que Elsevier tiene una gran connotación en el Q1 presentando un ACC que oscila entre 0 y 360, seguido de Pubmed también en el Q1 con un ACC entre 0 y 280. Para finalizar la base de datos Google Scholar que tuvo connotación en el Q4 con un ACC entre 0 y 40.

Gráfico Nro. 5. ACC por cuartil y base de datos.



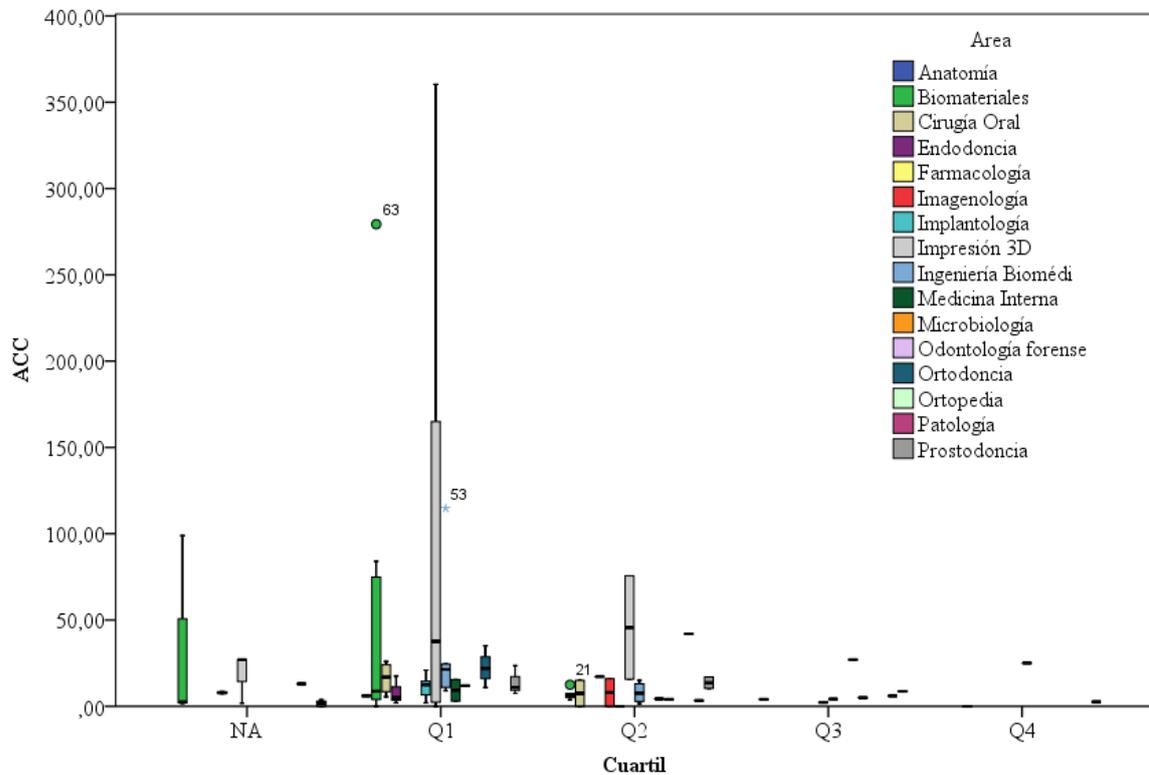
Fuente: Revisión general de artículos procesado en SPSS v25.

Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.5 Áreas de aplicación, ACC y cuartil

Con referencia a las áreas de aplicación, promedio de conteo de citas y cuartil se evidencia que el cuartil de mayor prominencia en número de artículos y con valores de ACC altos corresponden al cuartil 1 en el área de la impresión 3D, seguido del área de biomateriales, además se evidencia que este cual muestra diferentes áreas con un ACC por encima del valor aceptable de impacto moderado, también se observa una cantidad de artículos con cuartil 2 que muestran tendencia en el área antes citada.

Gráfico Nro. 6. Áreas de aplicación, número de citas y cuartil.



Fuente: Revisión general de artículos procesado en SPSS v25.

Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.6 Número de publicaciones por tipo de estudio, colección de datos y tipo de publicación.

En la **Tabla Nro.2** se muestra el número de publicaciones de acuerdo con el tipo de estudio, donde existieron publicaciones de tipo descriptivo y observacional, relacionándolas con la colección de datos, donde se presentaron datos cualitativos, cuantitativos y mixtos. La mayor parte de artículos científicos de la presente revisión bibliográfica fueron de datos cualitativos con un total de 49 artículos científicos, seguido de publicaciones con datos cuantitativos con un total de 35 publicaciones y finalmente los datos mixtos (cuali-cuantitativos) con una cantidad de 16 artículos.

Tabla Nro. 2. Número de publicaciones por tipo de estudio, colección de datos

Colección de datos				
Tipo de estudio	Cualitativo	Cuantitativo	Mixto	Total
Descriptivo	25	11	3	39
Observacional	24	24	13	61
Total	49	35	16	100

Fuente: Revisión general de artículos procesado en SPSS v25.
Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.7 Relación entre el cuartil, área y base de datos.

En la **Tabla Nro. 3** se caracterizaron los artículos científicos seleccionados para este tema según el cuartil (Q1-Q4), considerando que el Q1 es el más alto lo que hace más viable a la investigación, además se tomó en cuenta la base de datos (Elsevier, Pubmed, Google Scholar) junto con el área de la odontología a la que pertenece cada publicación. Se obtuvo la mayor cantidad de artículos con Q1 en el área de Biomateriales de la base de datos de Google Scholar, seguido de Cirugía en la base de datos de Elsevier. La mayoría de los artículos científicos se encontraron en el Q1 con un total de 51 artículos, seguido de Q2 con 24 publicaciones los demás cuartiles tuvieron valores menores en las diferentes áreas.

Tabla Nro. 3. Cuartil, área y base de datos.

Área	Cuartil	Base de datos			Total
		Elsevier	Google Scholar	PubMed	
Anatomía	Q1	0	1	0	1
	Total	0	1	0	1
Biomateriales	NA	0	2	1	3
	Q1	2	9	1	12
	Q2	2	1	3	6
	Q3	0	1	0	1
	Total	4	13	5	22
Cirugía Oral	Q1	5	1	0	6
	Q2	0	2	0	2
	Q4	0	1	0	1
	Total	5	4	0	9
Endodoncia	Q1	1	1	1	3
	Total	1	1	1	3
Farmacología	Q2	0	1	0	1
	Total	0	1	0	1
Imagenología	NA	0	2	0	2
	Q2	0	1	1	2
	Total	0	3	1	4
Implantología	Q1	1	4	1	6
	Q2	0	1	0	1
	Total	1	5	1	7
Impresión 3D	NA	0	1	2	3
	Q1	3	3	0	6
	Q2	0	2	0	2
	Q3	0	1	0	1
	Total	3	7	2	12

Ingeniería Biomédica	Q1	3	2	1	6
	Q2	1	3	0	4
	Q3	0	1	0	1
	Q4	0	1	0	1
	Total	4	7	1	12
Medicina Interna	Q1	0	2	0	2
	Total	0	2	0	2
Microbiología	Q1	0	1	0	1
	Q2	0	1	0	1
	Q3	1	0	0	1
	Total	1	2	0	3
Odontología forense	Q2	1	0	0	1
	Q3	1	0	0	1
	Total	2	0	0	2
Ortodoncia	Q1	4	1	0	5
	Total	4	1	0	5
Ortopedia	NA	1	0	0	1
	Q2	1	0	0	1
	Total	2	0	0	2
Patología	Q2	0	1	0	1
	Q3	0	1	0	1
	Total	0	2	0	2
Prostodoncia	NA	1	5	0	6
	Q1	3	0	0	3
	Q2	1	0	1	2
	Q3	0	1	0	1
	Q4	0	0	1	1
	Total	5	6	2	13
Total	NA	2	10	3	15
	Q1	22	25	4	51
	Q2	6	13	5	24
	Q3	2	5	0	7
	Q4	0	2	1	3
	Total	32	55	13	100

Fuente: Revisión general de artículos procesado en SPSS v25.

Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.8 Valoración de artículos por área

En la **Tabla Nro. 4** se muestran las diferentes áreas odontológicas de aplicación de la presente investigación, donde se destaca el área de Biomateriales con un total de 22 artículos científicos y un promedio de ACC de 36.13, en el diseño de estudio la mayoría de publicaciones fueron de revisiones bibliográficas, los estudios de colección de datos más altos fueron de tipo cualitativo.

Tabla Nro. 4. Valoración de artículos por área

Area de Aplicación	Nro Artículos	Promedio ACC	Publicación	
			Artículos	Conferencias
Anatomía	1	1,11	1	0
Biomateriales	22	36,13	22	0
Cirugía Oral	9	16,12	9	0
Endodoncia	3	8,17	3	0
Farmacología	1	17,25	1	0
Imagenología	4	10,61	4	0
Implantología	7	11,5	7	0
Impresión 3D	12	68,39	12	0
Ingeniería Biomédica	12	21,92	12	0
Medicina interna	2	9,25	2	0
Microbiología	3	14,44	3	0
Odontología forense	2	4,5	2	0
Ortodoncia	5	22,53	5	0
Ortopedia	2	27,5	2	0
Patología	2	4,67	2	0
Prostodoncia	13	8,31	13	0
Total	100	18,94	100	0

Diseño del Estudio			Colección de Datos		
Caso-control	Intervención	Revisión Bibliográfica	Cualitativo	Cuantitativo	Cuali-Cuanti
0	1	0	0	1	0
7	0	15	14	7	1
4	0	5	2	4	3
0	0	3	2	0	1
0	0	1	1	0	0
0	0	4	3	0	1
2	0	5	5	2	0
5	1	6	4	5	3
5	0	7	4	5	3
1	0	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0
3	0	2	2	3	0
0	0	2	0	0	2
0	0	2	2	0	0
5	0	8	7	5	1
34	3	63	49	35	16

Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.9 Área de aplicación por ACC y Factor de Impacto

La **Tabla Nro. 5** muestra las publicaciones en relación al promedio de conteo de citas ACC y el área de aplicación, donde el área de Biomateriales presentó la mayor cantidad de artículos científicos con un total de 20 publicaciones. Además el área de Biomateriales destacó con la mayoría de publicaciones con factor de impacto SJR, añadiéndole relevancia científica al estudio.

Tabla Nro. 5. Área de aplicación por ACC y Factor de Impacto

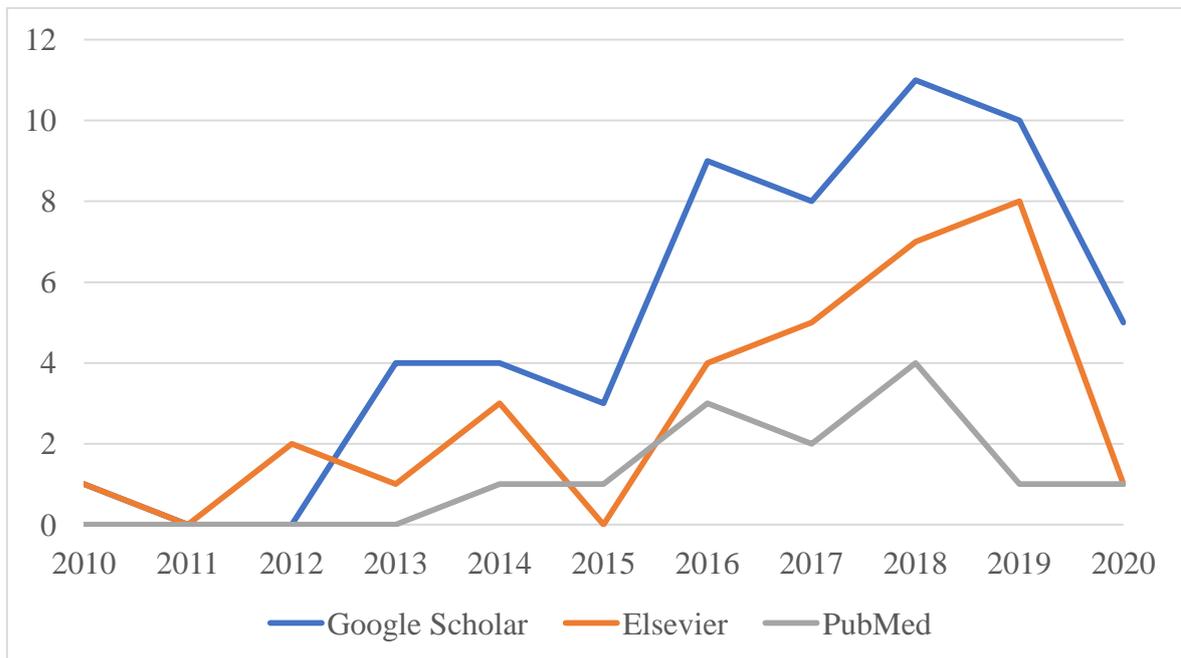
Area de Aplicación	Nro Artículo: ACC válido	Nro Artículos Publicacion FI -SJR
Anatomía	1	1
Biomateriales	20	19
Cirugía Oral	7	9
Endodoncia	3	3
Farmacología	1	1
Imagenología	3	2
Implantología	6	7
Impresión 3D	11	9
Ingeniería Biomédica	12	12
Medicina interna	2	2
Microbiología	3	3
Odontología forense	2	2
Ortodoncia	5	5
Ortopedia	2	1
Patología	2	2
Prostodoncia	10	7
Total	90	85

Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.10 Frecuencia de artículos por año y bases de datos

En el **Gráfico Nro. 7** se puede apreciar la cantidad de artículos que se utilizaron para el estudio, de acuerdo con el año de publicación de los mismos y la base de datos como Google Scholar, Elsevier y a la que pertenecen. La mayor cantidad de artículos fueron recopilados de la base de datos de Google Scholar y publicados en el año 2018, seguido de la base de datos de Elsevier y Pubmed. Además se pudo observar un creciente interés en el tema de impresión tridimensional en odontología en los últimos años.

Gráfico Nro. 7. Frecuencia de artículos por año y bases de datos

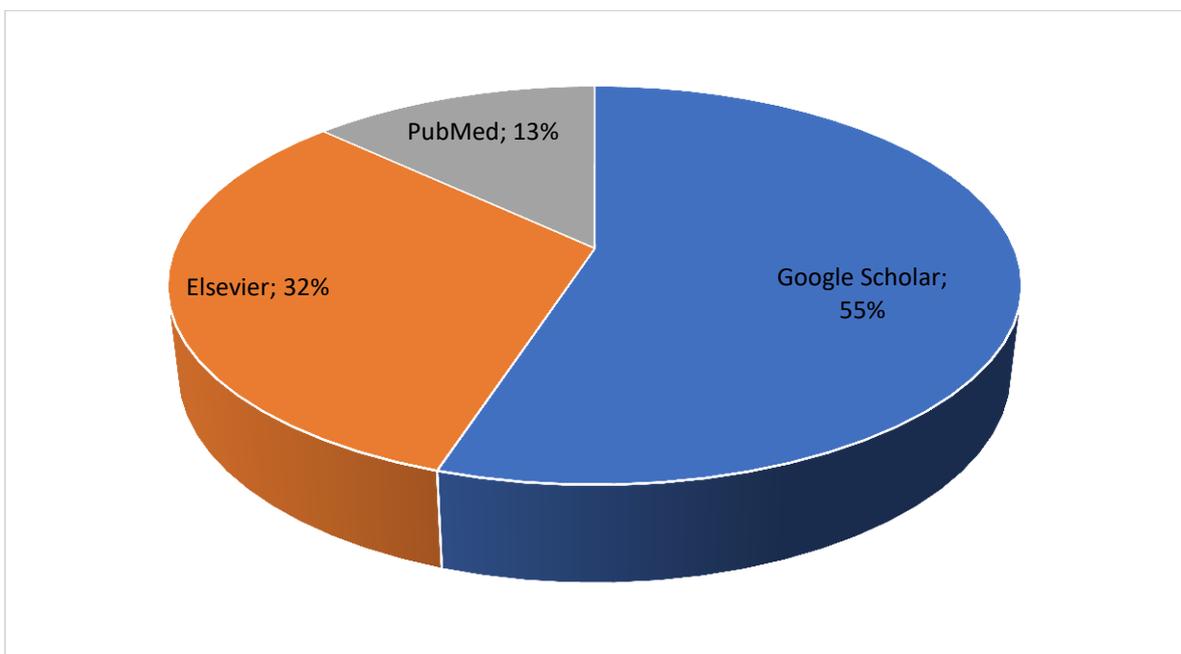


Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.11 Artículos científicos según la base de datos

En el **Gráfico Nro. 8** se puede observar el porcentaje de artículos científicos acerca de la impresión tridimensional en odontología, recopilados de las diferentes bases de datos como Google Scholar, Elsevier y Pubmed, de los cuales se obtuvo una muestra de 85 publicaciones para la realización del presente estudio. Se puede observar que el 55% pertenece a Google Scholar, seguido de Elsevier con el 32% y finalmente Pubmed con el 13%. Siendo la base de datos de Google Scholar la que presentó mayor porcentaje de artículos científicos en esta investigación.

Gráfico Nro. 8. Artículos científicos según la base de datos

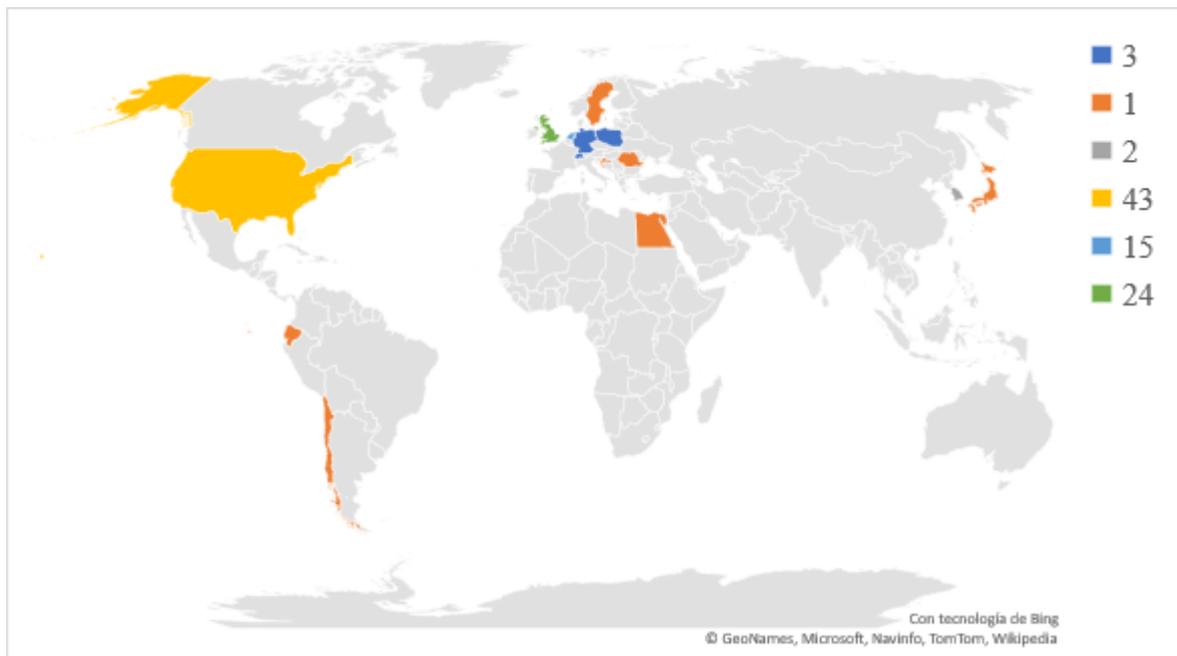


Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

2.4.12. Lugar de procedencia de los artículos científicos

En el **Gráfico Nro. 9** se muestra el país de procedencia de los artículos científicos, los cuales en su totalidad fueron 14 países de 3 continentes diferentes, mostrando el interés a nivel mundial acerca del tema de la impresión tridimensional en odontología. Estados Unidos fue el país con la mayor cantidad de publicaciones acerca del tema, con un total de 43 artículos científicos, seguido de Reino Unido con 24 publicaciones y Países Bajos con 15 artículos. Los demás países contaron con menos de 3 publicaciones.

Gráfico Nro. 9. Lugar de procedencia de los artículos científicos

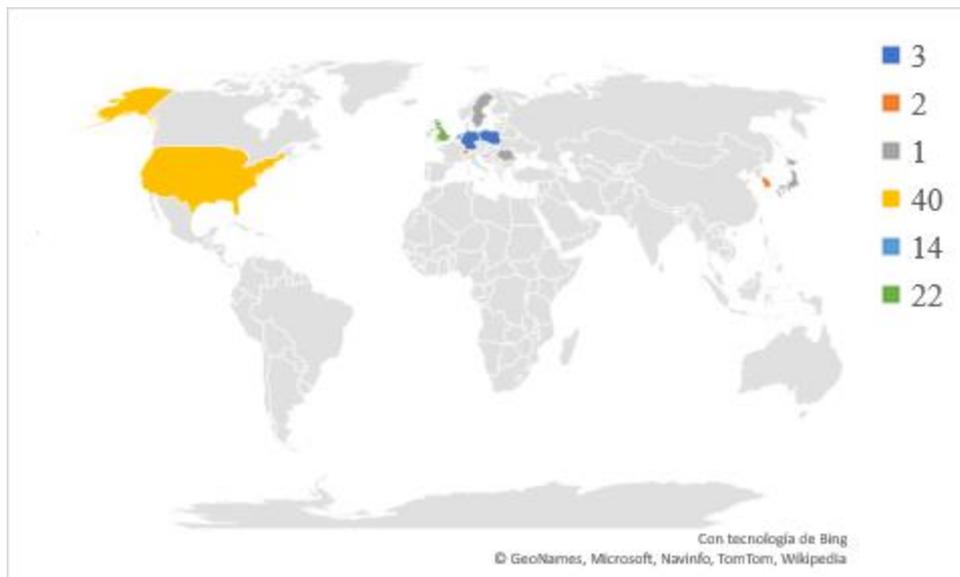


Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

4.2.13 Número de artículos con ACC válido por país.

En el **Gráfico Nro. 10** se pueden apreciar las publicaciones que poseen promedio de conteo de citas ACC mayor a 1.5 en relación con el país de origen del artículo científico. El país con mayor número de publicaciones acerca de la impresión tridimensional en odontología fue Estados Unidos con un total de 40 artículos, seguido de Reino Unido con 22 publicaciones y Países Bajos con 14 publicaciones, los demás países presentaron menos de 3 publicaciones.

Gráfico Nro. 10. Número de artículos con ACC válido por país



Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

3. RESULTADOS

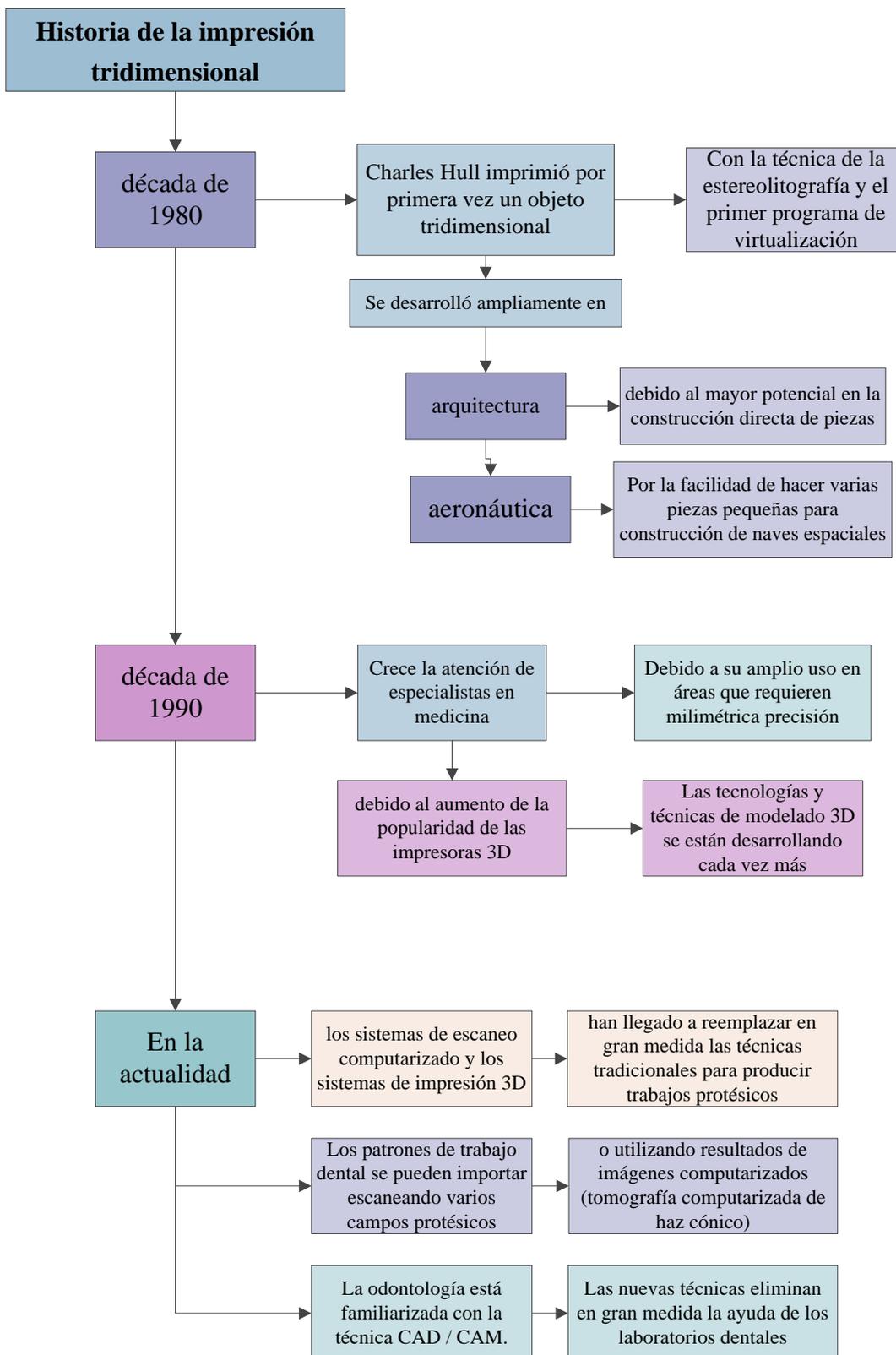
3.1 Historia de la impresión tridimensional

La impresión 3D se ha utilizado cada vez más desde la década de 1980. En 1983, Charles Hull imprimió por primera vez un objeto tridimensional. Creó la primera impresora 3D que utilizó la técnica de la estereolitografía, así como el primer programa para la virtualización. Recibieron mayor atención en campos como arquitectura debido al mayor potencial en la construcción directa de piezas, aeronáutica debido a la facilidad de hacer varias piezas pequeñas utilizados en la construcción de naves espaciales, y subconjuntos técnicos utilizados en dominio de las telecomunicaciones.⁽¹⁾⁽⁵⁾

Su uso en áreas que requieren milimétrica precisión, ha llamado la atención de especialistas en medicina general, que comenzó a implementarlo desde la década de 1990. Las tecnologías y técnicas de modelado 3D se están desarrollando debido al aumento de la popularidad de las impresoras 3D. Entre las técnicas de fabricación aditiva, la impresión dimensional es una técnica relativamente nueva que ofrece la posibilidad de producir una variedad de piezas geométricas utilizando varios materiales en forma de polvo y aglutinante.⁽¹⁾⁽¹⁰⁾

En los tratamientos protésicos, los sistemas de escaneo computarizado y los sistemas de impresión 3D han llegado a reemplazar en gran medida las técnicas tradicionales para producir trabajos protésicos. Las aplicaciones utilizadas en el desarrollo de piezas impresas en 3D utilizan principalmente tecnología para fabricar varias piezas mecánicas, y se necesitan programas informáticos especiales que contengan bibliotecas de objetos para lograr piezas de diseño. Los patrones de trabajo dental se pueden importar escaneando varios campos protésicos o utilizando resultados de imágenes computarizados (tomografía computarizada de haz cónico). La odontología está familiarizada con la técnica CAD / CAM. Las nuevas técnicas de realización de restauraciones protésicas eliminan en gran medida la ayuda de los laboratorios dentales. La aplicación del diseño asistido por computadora (CAD) y la fabricación asistida por computadora (CAM) en odontología ha progresado fuertemente en las últimas décadas. Ha llevado al desarrollo de nuevas clases de materiales y a la digitalización y automatización de varios procesos de trabajo.⁽²⁾⁽¹¹⁾

Gráfico Nro. 11. Historia de la impresión tridimensional



3.2 Concepto de impresión tridimensional

El término impresión 3D se usa generalmente para describir un enfoque de fabricación donde un objeto tridimensional es creado agregando múltiples capas a la vez. Este proceso se describe más correctamente como fabricación aditiva y también se conoce como creación rápida de prototipos.⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

La impresión 3d emplea un proceso de fabricación aditiva mediante el cual los productos se construyen capa por capa, a través de una serie de cortes transversales. Si bien las impresoras 3D funcionan de manera similar a las impresoras láser o de inyección de tinta tradicionales, en lugar de utilizar tintas multicolores, la impresora 3D utiliza polvo que se incorpora lentamente a una imagen capa por capa.⁽¹⁾⁽²⁾⁽¹²⁾

Todas las impresoras 3D también utilizan software CAD 3D que mide miles de secciones transversales de cada producto para determinar exactamente cómo se construirá cada capa. La máquina 3D dispensa una fina capa de resina líquida y utiliza un láser ultravioleta controlado por computadora para endurecer cada capa en el patrón de sección transversal especificado. Al final del proceso, el exceso de resina blanda se limpia mediante el uso de un baño químico.⁽¹⁾⁽²⁾

3.3 Características de la impresión tridimensional

La impresión 3-D facilita la subcontratación, así como el intercambio de diseños entre diseñadores y usuarios. Los programas de software como Alibre y Autodesk permiten a una persona diseñar un producto en casa o en la oficina, y luego enviar el diseño por correo electrónico a un cliente. Los diseños también se pueden compartir muy fácilmente en la impresión 3D. En el lado negativo, la disponibilidad de descripciones de software de diseño CAD en la Web tiene implicaciones significativas para la seguridad de la propiedad intelectual. Dado que los objetos se comparten digitalmente, se puede copiar y revender fácilmente. Un temor importante es que poco después de que los planos de un producto se publiquen en un sitio web, aparezcan en el mercado clones de productos o productos pirateados. Algunos escritores han notado la necesidad de que los gobiernos endurezcan las reglas de propiedad intelectual existentes debido a la facilidad de copiar diseños a través de tecnologías de impresión 3D.⁽⁹⁾⁽¹³⁾

3.4 Tecnología de impresión tridimensional en odontología

En los últimos años, el desarrollo de la impresión 3D para aplicaciones médicas y dentales ha aumentado notablemente. El impulso para el avance en la impresión 3D para la medicina y la odontología surge de la necesidad de productos individualizados, ahorros en producciones a pequeña escala, intercambio y procesamiento más fáciles de datos de imágenes de pacientes y actualización educativa. Al observar las especialidades dentales, se hace evidente que la atención en la impresión 3D se centra principalmente en las aplicaciones en cirugía oral y prostodoncia, seguida de la ortodoncia, mientras que hay un número limitado de publicaciones sobre aplicaciones en periodoncia y endodoncia.⁽⁹⁾⁽¹¹⁾

La odontología moderna está familiarizada con materiales diseñados para trabajar con CAD CAM y para sustituir las aleaciones de fundición de metales preciosos más tradicionales, que han estado sujetos a incrementos exponenciales de precios en los últimos años. Este uso de la tecnología facilita el uso de materiales con los que de otra manera sería difícil trabajar y elimina las técnicas de producción artesanal intensivas en mano de obra, permitiendo al técnico dental centrar sus habilidades manuales en aspectos más creativos del proceso de fabricación, por ejemplo, la estratificación estética de la porcelana. La reconstrucción o restauración también tendrá una complejidad innata que requerirá la reproducción de geometría enrevesada con un alto nivel de precisión.⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾

3.4 Técnicas de impresión

Los métodos de fabricación aditiva más ampliamente aplicados incluyen el modelado por deposición fundida (FDM), la sintetización selectiva por láser (SLS), la estereolitografía (SLA), la impresión polyjet y la bioimpresión. Las impresoras de modelado de deposición fundida (FDM) son los más comunes para empezar en una instalación médica o dental debido a su amplia disponibilidad, calidad de impresión moderadamente confiable, facilidad de instalación y uso y economía. Existen muchas tecnologías de impresión diferentes, cada una con sus propias ventajas y desventajas. Desafortunadamente, una característica común de los equipos más funcionales y productivos es el alto costo del equipo, los materiales, el mantenimiento y la reparación, a menudo acompañados de la necesidad de una limpieza desordenada, un posprocesamiento difícil y problemas de salud y seguridad onerosos.⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾

3.4.1 Esteriolitografía (SLA, SL)

Un aparato de estereolitografía utiliza un láser de escaneo para construir las piezas una capa a la vez, en una tina de resina fotopolimérica. Cada capa es trazada por el láser en la superficie de la resina líquida, en cuyo punto desciende una plataforma de construcción y se pasa otra capa de resina sobre la superficie y se repite el proceso. Los soportes deben generarse en el software CAD e imprimirse para resistir la acción de limpieza y resistir la gravedad, y luego deben retirarse del producto terminado. El posprocesamiento implica la eliminación del exceso de resina y un proceso de endurecimiento en un horno UV. El proceso es costoso cuando se usa para objetos grandes, pero esta tecnología se usa comúnmente para la producción industrial de guías de perforación de implantes impresas en 3D.⁽⁹⁾⁽¹⁵⁾

3.4.2 Inyección de fotopolímero (PPJ)

Esta tecnología utiliza materiales de resina fotopolimerizables y cabezales de impresión similares a los que se encuentran en una impresora de inyección de tinta (pero considerablemente más costosos), para colocar capas de fotopolímero que se fotopolimerizan con cada pasada del cabezal de impresión. La tecnología puede utilizar una plataforma estacionaria y un cabezal de impresión dinámico o un cabezal de impresión estacionario y una plataforma dinámica. Se coloca una estructura de soporte en un material de soporte friable. Se puede imprimir una variedad de materiales, incluidas resinas y ceras para fundición, así como algunos materiales de caucho similares a la silicona.⁽⁹⁾⁽¹⁶⁾

Es posible una geometría compleja y detalles muy finos, con una resolución de tan solo 16 micrones. El inconveniente es que el equipo y los materiales son costosos de comprar y operar, y los materiales de soporte pueden ser tenaces y bastante desagradables de quitar. Son útiles para imprimir modelos de estudio dentales o anatómicos, pero son costosos cuando se producen de esta manera. Las guías de broca de implantes se pueden producir de forma rápida y económica con esta tecnología, ya que son menos voluminosas. Una ventaja particular de esta tecnología es que el uso de múltiples cabezales de impresión permite la impresión simultánea con diferentes materiales, y mezclas graduadas de materiales, hace posible variar las propiedades del objeto impreso, que puede

tener por ejemplo partes flexibles y rígidas, por ejemplo, para la producción de férulas de brackets de ortodoncia indirecta.⁽⁹⁾⁽¹⁷⁾

3.4.3 Impresoras de aglutinantes en polvo (PBP)

Estos aparatos usan un cabezal de inyección de tinta modificado para imprimir usando, lo que es esencialmente, gotas de líquido para infiltrar una capa de polvo, capa por capa. Por lo general, se utiliza un líquido pigmentado, que es principalmente agua, para imprimir sobre el polvo, que es principalmente yeso de París. Nuevamente, un modelo se construye en capas a medida que el lecho de polvo cae gradualmente, y se barre una nueva capa fina de polvo sobre la superficie. El modelo está soportado por polvo no infiltrado, por lo que no se requiere material de soporte. El posprocesamiento para infiltrar el delicado modelo impreso con una resina de cianoacrilato o epoxi mejorará la resistencia y la dureza de la superficie.⁽¹⁾⁽⁹⁾⁽¹⁸⁾

Los modelos resultantes son útiles como modelos de estudio o prototipos visuales, pero la precisión es limitada y los modelos son bastante frágiles a pesar del posprocesamiento. Un atractivo particular de esta tecnología radica en su capacidad para imprimir modelos a todo color; desde una perspectiva quirúrgica, el inconveniente es que los modelos no pueden esterilizarse o manipularse directamente durante el funcionamiento. La precisión es inadecuada para aplicaciones prostodónticas. Las máquinas y los materiales son de menor costo, pero aun así no son económicos. Como el material es principalmente yeso de París, existe cierta compatibilidad con tener el aparato situado en una sala de yeso de laboratorio dental.⁽¹⁾⁽¹⁹⁾

3.4.4 Sinterización selectiva por láser (SLS)

Esta tecnología ha estado disponible desde mediados de la década de 1980. Un láser de escaneo fusiona un polvo de material fino, para construir estructuras capa por capa, a medida que un lecho de polvo cae gradualmente y una nueva capa fina de material se extiende uniformemente sobre la superficie. Se puede obtener un alto nivel de resolución (60 μm) y, dado que las estructuras que se imprimen están soportadas por el polvo circundante, no se requiere material de soporte.⁽⁹⁾⁽¹⁸⁾

Los polímeros utilizados en este proceso tienen altos puntos de fusión (por encima de la temperatura de esterilización del autoclave) y excelentes propiedades del

material, haciendo que los objetos hechos de esta manera sean útiles como modelos de estudio anatómico, guías de corte y perforación, modelos dentales y para ingeniería / prototipos de diseño. Sin embargo, algunos de los materiales son difíciles de perforar y preparar, y la tecnología es costosa de comprar, mantener y ejecutar, por lo que requiere grandes cantidades de aire comprimido. Los materiales son intrínsecamente polvorientos, tienen algunos requisitos de salud y seguridad y son bastante complicados para trabajar. Los materiales disponibles incluyen nailon, que es quizás el material elastomérico flexible más versátil, y mezclas de nailon que contienen metales. Una posibilidad interesante para los implantes médicos es el uso de poliéter éter cetona (PEEK), aunque esto requiere altas temperaturas y un control complejo, y una gran cantidad de desperdicio.⁽⁹⁾⁽²⁰⁾

La capacidad de imprimir en 3D en metales es increíblemente emocionante en el mundo dental. Hay una amplia gama de metales y aleaciones de metales disponibles que incluyen titanio, aleaciones de titanio, aleaciones de cobalto-cromo y acero inoxidable. Las dentaduras parciales y las estructuras de prótesis impresas en 3D ya se están fabricando de esta manera, y para las estructuras de puentes de implantes, la tecnología se puede combinar con procesos de fresado para proporcionar conexiones de alta precisión. La tecnología es, en líneas generales, la misma que la descrita anteriormente para los polímeros, pero estos aparatos también pueden ser descritos por diferentes fabricantes como "fusión selectiva por láser" o "sinterización directa por láser de metales".⁽⁹⁾⁽¹⁷⁾

El proceso de impresión 3D en sí mismo puede ser sencillo, pero el posprocesamiento definitivamente no es sencillo y los polvos metálicos finos e incluso los desechos de nanopartículas más finas representan un desafío de salud y seguridad bastante significativo. Si bien la impresora en sí puede colocarse fácilmente en el laboratorio dental, el equipo de posproducción asociado ocupa al menos el mismo espacio. Si bien en teoría el uso de una máquina para imprimir en diferentes materiales puede parecer factible, en la práctica es extremadamente difícil limpiar completamente una máquina, y ciertamente cambiar entre un metal implantable y un material de restauración no es en absoluto práctico. En la producción de lotes pequeños, la tecnología es costosa y la fundición sigue teniendo muchos atractivos. Sin embargo, en una gran máquina dedicada es posible imprimir simultáneamente 400-500 copias de coronas en un período de 24 horas.⁽⁹⁾⁽²¹⁾

3.4.5 Modelado de deposición fundida (FDM)

FDM es una de las primeras tecnologías de impresión 3D y fue utilizado por el autor para producir su primer modelo médico en 1999. Una impresora FDM es esencialmente una pistola de pegamento robótica; una extrusora atraviesa una plataforma estacionaria o una plataforma se mueve debajo de una extrusora estacionaria. El software corta los objetos en capas y las coordenadas se transfieren a la impresora. Los materiales deben ser termoplásticos por definición. Un material comúnmente utilizado es el polímero biodegradable de ácido poliláctico; este o materiales similares se han utilizado como componentes clave de las estructuras de andamios utilizadas para la bioimpresión, un área popular para la investigación en ingeniería de tejidos. La construcción de geometrías complejas normalmente requiere la colocación de estructuras de soporte que pueden estar formadas del mismo material o de un segundo material colocado por una segunda extrusora, que, por ejemplo, podría extruir un material de soporte soluble en agua. La precisión dependerá de la velocidad de desplazamiento de la extrusora, así como del flujo de material y del tamaño de cada "paso".⁽⁵⁾⁽⁹⁾

Este es el proceso que utilizan la mayoría de las impresoras 3D "domésticas" de bajo costo. Permite la impresión de modelos anatómicos toscos sin demasiada complejidad, por ejemplo, la impresión de una mandíbula desdentada podría ser posible, aunque la impresión de un maxilar detallado sería una tarea difícil. Hay disponibles impresoras FDM más costosas y precisas, que tienen aplicación en la fabricación de modelos de estudios anatómicos, pero poco más en odontología o cirugía.⁽⁹⁾⁽²²⁾

Tabla Nro. 6. Técnicas de impresión tridimensional

MATERIAL	TÉCNICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Resina fotopolimerizable	<p>Estereolitografía (SLA) Polímero sensible a la luz curado capa por capa por un láser de escaneo en una tina de polímero líquido</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Fabricación rápida -Capaz de crear formas complejas con alta resolución de funciones. -Materiales de menor costo si se utilizan a granel. 	<ul style="list-style-type: none"> -Solo disponible con polímeros líquidos curables por luz. -La resina ensucia y puede causar sensibilización de la piel y puede ser irritante por contacto e inhalación. -Vida útil limitada y vida útil de la tina. - No se puede esterilizar con calor. Tecnología de alto costo.
	<p>Photojet el polímero fotosensible se inyecta en una plataforma de construcción desde un cabezal de impresión de inyección de tinta y se cura capa por capa en una plataforma descendente creciente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Relativamente rápido. -acabado de alta calidad. -Múltiples materiales disponibles, varios colores y propiedades físicas, incluidos materiales elásticos. -Tecnología de menor costo. 	<ul style="list-style-type: none"> -El material de soporte tenaz puede ser difícil de eliminar por completo. -El material de soporte puede causar irritación de la piel. -No se puede esterilizar con calor. Materiales de alto costo.
	<p>DLP (procesamiento de luz digital) La resina líquida se cura capa por capa mediante una fuente de luz de proyector. El objeto se construye boca abajo sobre una plataforma que se eleva gradualmente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Buena precisión, superficies lisas, relativamente rápido. -Tecnología de menor costo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Polímeros líquidos curables por luz y materiales similares a cera para fundición. -Se deben retirar los materiales de soporte. -La resina ensucia y puede causar sensibilización de la piel, y puede ser irritante por contacto -Vida útil limitada y vida útil de la tina. - No se puede esterilizar con calor. Materiales de mayor costo.
Aglutinante en polvo	<p>Yeso o material cementado fraguado por gotas de agua (coloreada) del cabezal de impresión 'inkjet'. Objeto construido capa a capa en un lecho de polvo, sobre una plataforma que desciende progresivamente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Materiales y tecnología de menor costo. -Puede imprimir en color. -El material no fraguado proporciona soporte -Proceso relativamente rápido. -Materiales seguros. 	<ul style="list-style-type: none"> -Baja resolución. -Polvo desordenado. -Resistencia baja. -No se puede remojar ni esterilizar con calor.
Polvo sinterizado	<p>Sinterización selectiva por láser (SLS) para polímeros. Objeto construido capa a capa en lecho de polvo. La cámara de construcción calentada eleva la temperatura del material justo por debajo del punto de fusión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Gama de materiales poliméricos que incluyen nailon, elastómeros y compuestos. -Piezas fuertes y precisas. -puede esterilizarse en autoclave. -funcionalidad mecánica completa. -Materiales de menor costo si se utilizan en grandes volúmenes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se requiere una infraestructura significativa, por ejemplo. aire comprimido, climatización. -Polvos sucios. -Menor costo a granel. -Riesgo de inhalación. -Tecnología de alto costo. -Superficie áspera.
	<p>Sinterización selectiva por láser (SLS): para metales y aleaciones metálicas. El escaneo láser sinteriza el polvo de metal capa por capa en una cámara de construcción fría a medida que desciende la plataforma de construcción.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Objetos de alta resistencia, pueden controlar la porosidad. -Variedad de materiales que incluyen titanio, aleaciones de titanio, cromo cobalto, acero inoxidable. -La aleación de metal se puede reciclar. Detalles finos posibles. 	<ul style="list-style-type: none"> -Elaborar requisitos de infraestructura. Tecnología extremadamente costosa Materiales peligrosos para la salud. -Riesgo explosivo. -Difícil de quitar los materiales de soporte. -Proceso relativamente lento.
Termoplástico	<p>Modelado por deposición fundida (FDM) Primera tecnología 3DP, más utilizada en impresoras "domésticas". Material termoplástico extruido a través de la boquilla sobre la</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Alta porosidad. -Resistencia mecánica variable. Materiales y equipos de bajo a medio costo. -Baja precisión en equipos de bajo coste. -Algunos materiales pueden 	<ul style="list-style-type: none"> -Materiales de bajo costo, pero imitados, solo termoplásticos. -Complejidad de forma limitada para materiales biológicos. -Se debe quitar el material de soporte.

3.5 Aplicaciones de la impresión tridimensional en las diferentes áreas de odontología

3.5.1 Cirugía oral y Maxilofacial

La fabricación aditiva ya ha tomado su lugar durante casi tres décadas en el campo de la cirugía oral y maxilofacial cuando los modelos anatómicos se han fabricado utilizando métodos estereolitográficos basados en datos de TC. Desde entonces, estos modelos han sido beneficiosos para el diagnóstico, la planificación prequirúrgica, actuando como referencia durante la cirugía y en el proceso de fabricación de implantes personalizados. Con la inclusión de estos modelos anatómicos fabricados de forma aditiva en el sistema educativo, la futura generación de médicos y odontólogos puede aprovechar los avances en la impresión 3D. Posteriormente, esto ha llevado al desarrollo de guías quirúrgicas de perforación o corte y, más recientemente, a injertos óseos individuales y escamas que hacen de la impresión 3D en cirugía oral y maxilofacial una herramienta importante.⁽⁵⁾⁽⁹⁾⁽²³⁾

3.5.1.1 Enfoques experimentales

El injerto óseo es una práctica común en la cirugía reconstructiva y emplea tres tipos de fuentes de injerto: autógeno, autólogo y alogénico. Los injertos alogénicos en comparación con los injertos autólogos se consideran libres de problemas éticos, infecciosos, de limitación de tamaño y de morbilidad en el sitio donante. Sin embargo, carecen de potencial osteogénico y osteoinductivo. Con la introducción de la fabricación aditiva, es posible generar implantes personalizados para la regeneración ósea y tisular mediante el uso de materiales biocompatibles para defectos orofaciales.⁽⁹⁾⁽²⁴⁾

3.5.1.2 Enfoques clínicos

El análisis preciso del defecto utilizando metodologías de imágenes 3D ayuda a un diagnóstico más confiable. Los modelos de contorno, guías, férulas e implantes son las cuatro categorías diferentes de objetos quirúrgicos impresos en tres dimensiones. Los modelos anatómicos craneofaciales fueron la primera aplicación basada en el diseño asistido por computadora y la fabricación asistida por computadora (CAD / CAM) en cirugía oral y maxilofacial. La impresión 3D también hizo concebible la planificación y realización completa de la reconstrucción quirúrgica de defectos maxilomandibulares

mediante técnicas virtuales tridimensionales con carga protésica inmediata. Según el diagnóstico, el médico realiza una planificación quirúrgica personalizada implícitamente para cada caso utilizando software 3D. Estas simulaciones anatómicas familiarizan al cirujano con una situación intraoperatoria y le ayudan a preparar los instrumentos y procedimientos necesarios.⁽⁹⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾

Teniendo en cuenta los objetivos individuales del tratamiento, se puede fabricar un modelo simulado del resultado final del tratamiento mediante impresión 3D. Esto ayuda al paciente a comprender la estrategia quirúrgica y visualizar el resultado del tratamiento incluso antes de la ejecución de la cirugía. Así, la fabricación aditiva permite al clínico obtener los mejores resultados del tratamiento y mejorar el aspecto y la calidad de vida de los pacientes que se someten a cirugía facial. Un paso crucial en el procedimiento de planificación y ejecución quirúrgica digital es el diseño de guías y plantillas quirúrgicas para mejorar la precisión de la operación. Se basan en la información obtenida por imágenes de TC y análisis de software de computadora del defecto maxilomandibular.⁽⁹⁾⁽²⁶⁾

3.5.1.3 Enfoques educativos

Junto con una amplia aplicación clínica, la impresión 3D es la herramienta definitiva para la educación y la formación en cirugía oral. Se espera que muy pronto se produzca un cambio de paradigma en los protocolos de formación y educación en todo el mundo. La impresión 3D ofrece grandes oportunidades en el campo de la replicación de la anatomía orofacial y la geometría compleja con la más alta precisión que se puede emplear para capacitar a estudiantes y profesionales en la realización de diversas operaciones maxilofaciales. Esto se puede lograr utilizando impresoras 3D de alta gama que permiten que tanto los tejidos duros como los blandos se repliquen en una única mandíbula de entrenamiento. Estos modelos anatómicos ampliados impresos en 3D también podrían ayudar a capacitar a los estudiantes en su orientación espacial tridimensional y apoyar la comunicación entre el médico y el paciente. Por tanto, existe un gran potencial de la impresión 3D en la cirugía oral y maxilofacial, no solo desde el punto de vista de la investigación, sino también en los frentes clínico y educativo.⁽⁹⁾⁽²⁷⁾

3.5.2 Prostodoncia

Reemplazar los dientes perdidos siempre ha sido un campo de avance progresivo en la odontología, que se remonta a tiempos históricos cuando materiales como madera, piedra,

oro, plata e incluso dientes extraídos de cadáveres se usaban para reemplazar la dentición faltante y otras partes de la mandíbula. Tradicionalmente, se utilizaban polímeros de silicona o alginato para producir impresiones intraorales y técnicas de moldeo por compresión o inyección se utilizaron para fabricar dentaduras postizas. Este proceso es lento, engorroso y requiere un técnico dental altamente calificado, especialmente en el caso de pacientes con reflejo nauseoso, resección del tumor, labios con cicatrices después de la resección del cáncer defectos de la articulación temporomandibular o deformidades bucales. Con el avance progresivo en el flujo de trabajo digital es posible imprimir directamente prótesis de silicona proporcionando una estética aceptable y reduciendo el número de citas para el paciente al mismo tiempo. La bioimpresión a través de la producción de equivalentes de tejido oral podría ayudar a desarrollar modelos novedosos para evaluar la biocompatibilidad de materiales novedosos y así optimizar la investigación y el desarrollo en la ciencia de los materiales.⁽⁹⁾⁽²⁸⁾

3.5.2.1 Enfoques experimentales

Los materiales metálicos y a base de polímeros son comunes en la fabricación aditiva de prótesis y coronas dentales, mientras que el uso de cerámicas aún no se ha explorado, los estudios in vitro han demostrado que las cerámicas fabricadas por litografía donde el objeto se imprime capa por capa, muestran propiedades mecánicas comparables a las cerámicas molidas. Sin embargo, el proceso de fabricación y la resistencia y la tenacidad a la fractura son áreas que requieren más investigación. La mayoría de las técnicas de impresión 3D que se utilizan hoy en día como sinterización selectiva por láser, fusión selectiva por láser o estereolitografía suelen dar como resultado estructuras porosas, mientras que la impresión por chorro de tinta permite la producción de estructuras cerámicas densas y complejas. Para mejorar las propiedades mecánicas de la cerámica y aumentar su homogeneidad, se debe erradicar la porosidad dando como resultado una estructura más densa y compacta.⁽⁹⁾⁽²⁸⁾

3.5.2.2 Enfoques clínicos

Con la introducción del escaneo intraoral y la impresión 3D, la fabricación de prótesis se ha convertido en un procedimiento más amigable para el paciente. Los informes de casos publicados indican que ahora es factible fabricar con éxito dentaduras postizas parciales removibles para pacientes con apertura bucal reducida o contracturas labiales. Las dentaduras postizas fijas y removibles fabricadas mediante impresión 3D son clínicamente

aceptables y tienen propiedades físicas comparables a las dentaduras postizas fabricadas convencionalmente. Los estudios han demostrado que la impresión 3D puede emplearse con éxito para prótesis de implantes de metal mediante fusión selectiva por láser y fusión por haz de electrones. Esta tecnología de vanguardia se puede emplear para reducir el tedioso trabajo de un técnico dental y proporcionar una estructura más precisa en comparación con la estructura convencional. Las coronas de metal y las restauraciones provisionales de resina han mostrado una precisión y un ajuste marginal comparables con respecto a las restauraciones fresadas. Por lo tanto, vemos que la fabricación aditiva tiene un papel prometedor que desempeñar en la prostodoncia, especialmente en pacientes con discapacidades faciales o reflejos nauseosos.⁽⁹⁾⁽²⁹⁾

3.5.2.3 Enfoques educativos

En los últimos años se ha producido un cambio ejemplar en la formación de estudiantes y profesionales de odontología en tipodontos plásticos idealistas hacia modelos impresos en 3D más reales que se basan en datos obtenidos por escaneos intraorales de pacientes. Este concepto se ha utilizado en prostodoncia para capacitar a los dentistas en modelos reales personalizados basados en el paciente para la preparación de carillas y coronas, ya que en la boca los dientes generalmente se giran y retuercen o contienen rellenos, lo que hace que la preparación de puentes y coronas sea más desafiante. La técnica de la impresión polyjet se ha utilizado con éxito para crear modelos en diferentes niveles de dureza, replicando el de esmalte, dentina y caries sanos para que los aprendices experimenten la propiocepción de trabajar en un diente real.⁽⁹⁾⁽³⁰⁾

3.5.3 Ortodoncia

La impresión 3D ha reformado la era de la medicina de precisión al ofrecer instalaciones personalizadas, eficientes, altamente precisas y reproducibles en el campo de la odontología, incluida la ortodoncia. Hace varios años se introdujo la idea de usar escaneos faciales en 3D e impresión 3D para imprimir no solo los arcos dentales anatómicamente correctos y precisos de los pacientes, sino también los brackets de ortodoncia. Como resultado, son posibles ajustes específicos del paciente en términos de angulación, flexión y selección de material durante la fabricación de brackets. Con la ayuda de esta técnica asistida por computadora, ahora es posible presentar virtualmente los cambios causados por los aparatos ortopédicos por adelantado.⁽⁹⁾⁽³¹⁾

3.5.3.1 Enfoques experimentales

Dentro de la biomedicina, la comprensión fundamental del crecimiento del cartílago y la biología ósea se está probando actualmente en modelos animales para modificar el crecimiento mandibular y modular el movimiento de los dientes, respectivamente. Algunos de estos descubrimientos conducirán finalmente a aplicaciones clínicas en ortodoncia para modificar el crecimiento, acelerar el movimiento de los dientes de ortodoncia y mejorar el anclaje o retención de los dientes. Estudios publicados recientemente han utilizado los datos de TC de un paciente de ortodoncia adolescente durante un período de 1 año para imprimir modelos 3D de la mandíbula utilizando software de imágenes médicas. Los datos obtenidos se analizaron para el crecimiento mandibular. Los resultados de estos estudios estaban en consonancia con los estudios de marcadores implantables y cadáveres humanos realizados en el pasado. Esto ayudará a los cirujanos pediátricos a realizar cirugías craneofaciales, a los ortodoncistas a comprender el patrón de crecimiento y a la autenticación de modelos de crecimiento teóricos. La bioimpresión de estructuras complejas de tejido oral puede ayudar a revelar las respuestas biológicas a las fuerzas inducidas por los tratamientos de ortodoncia. Por lo tanto, estos modelos podrían servir como alternativas a los experimentos con animales que se utilizan actualmente.⁽⁵⁾⁽⁹⁾⁽¹⁶⁾

3.5.3.2 Enfoques clínicos

Hasta la fecha, la impresión 3D en ortodoncia se utiliza principalmente para la producción de alineadores de ortodoncia para corregir dientes desalineados. Estos alineadores pueden ser retirados en cualquier momento por el paciente y en la mayoría de los casos solo se usan de noche describió la posibilidad de un método llamado de herramientas rápido para la producción de férulas reguladoras removibles hechas a medida, llamadas alineadores. Estos alineadores de ortodoncia se pueden utilizar en pacientes con una ligera malposición de los dientes o después de un tratamiento de ortodoncia fijo.⁽⁵⁾⁽⁹⁾

También se describió el uso de la impresión 3D en la fabricación de férulas para un paciente con trastornos de disfunción de la articulación temporomandibular (ATM). Los pacientes tienen más probabilidades de sufrir maloclusiones, como mordidas cruzadas, estas maloclusiones provocan excesivos signos de desgaste en los dientes acompañados de dolor en los músculos masticatorios. Debido a la alta prevalencia de estos desajustes en la dentición, es deseable realizar más investigaciones y mejorar la producción de férulas. El empleo de tecnología de creación rápida de prototipos permite mejorar la tensión de los

músculos masticatorios. Además, este enfoque ahorra tiempo y dinero y aumenta la precisión al reducir el número de pasos manuales a lo largo del proceso⁽⁹⁾⁽³²⁾

3.5.3.3 Enfoques educativos

La importancia de la documentación 3D en los trastornos ortodóncicos y craneofaciales viene avalada desde la última década. Los modelos de yeso ahora han sido reemplazados por información y datos digitales. Esto no solo resuelve los problemas de almacenamiento a granel que a menudo enfrentan los ortodoncistas, sino que también abre un nuevo horizonte de educación e investigación. Rescatando al paciente de la exposición repetida a radiaciones ionizantes, se han utilizado modelos impresos en 3D para establecer nuevos teoremas y relaciones entre el área alveolar y la necesidad de extracción. En el futuro, será posible utilizar modelos dentales fabricados aditivamente por pacientes reales basados en exploraciones intraorales o tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) para entrenar ortodoncia fija y removible a estudiantes de odontología.⁽⁹⁾⁽³³⁾

3.5.4 Endodoncia

Como se ve en los campos de la odontología descritos anteriormente, la impresión 3D también se ha labrado un nicho importante en la disciplina de la endodoncia. El cambio de paradigma del flujo de trabajo manual al digital en endodoncia ha dado lugar a una simplificación incomparable del procedimiento, una mayor precisión y exactitud, una mejora de la comodidad del paciente, un gran avance en la endodoncia regenerativa y el avance de las habilidades del operador mediante la capacitación y la educación.⁽⁹⁾⁽³⁴⁾

3.5.4.1 Enfoques experimentales

La fabricación aditiva ha invadido el campo de la endodoncia regenerativa experimental por su capacidad para preservar el diente natural en lugar de reemplazarlo por cirugía protésica. El principio de la impresión 3D se puede aplicar para administrar células madre, escamas pulpaes, fosfatos de calcio inyectables, factores de crecimiento y para la terapia génica en la endodoncia. Se han desarrollado varios tipos de cementos de fosfato de calcio mediante impresión 3D para formar escamas porosas para la regeneración del complejo pulpa-dentina. Se ha demostrado que la aplicación de policaprolactona impresa en 3D recubierta con plasma rico en plaquetas liofilizado a las células de la pulpa dental tiene una

actividad osteogénica mejorada in vitro. También se ha generado tejido con forma anatómica similar a un diente utilizando escamas de poliepsilon-caprolactona e hidroxiapatita impresas en 3D. Además, se desarrollaron enfoques de bioimpresión utilizando biónicos derivados de la dentina. Para enfoques libres de escamas, los esferoides derivados de células de la pulpa dental han mostrado resultados prometedores para las estrategias regenerativas.⁽⁹⁾⁽³⁵⁾

3.5.4.2 Enfoques clínicos

Clínicamente, la fabricación aditiva en endodoncia encuentra aplicación en la apicectomía guiada y la preparación de la cavidad de acceso endodóntico. Los estudios publicados han demostrado la eficacia y las ventajas de la preparación de la cavidad de acceso guiado sobre la convencional. Las guías impresas en 3D pueden ser una ayuda útil para ahorrar tiempo en casos de conductos calcificados y periodontitis apical. Los procedimientos de endodoncia son bastante desafiantes en dientes con anomalías en la anatomía del conducto radicular, lo que hace que la preparación, desinfección y obturación de la cavidad de acceso un procedimiento difícil. Los informes de casos publicados han demostrado el papel potencial de la impresión 3D en este campo al hacer modelos de dientes fabricados de forma aditiva con estructuras internas del conducto radicular que se pueden utilizar como base para imprimir una guía para el tratamiento endodóntico de casos tan desafiantes. Además, esta técnica se puede aplicar a molares con anatomías complejas del conducto radicular, ya que la radiografía solo proporciona información 2D del conducto radicular, a menudo borrando los conductos accesorios y laterales.⁽⁹⁾⁽³⁶⁾

3.5.4.3 Enfoques educativos

La fabricación aditiva tiene un papel importante en la formación y educación en endodoncia. Ha habido una tendencia creciente en muchas escuelas de odontología en todo el mundo hacia la sustitución de dientes tipodontos que se sabe que tienen anatomías idealistas del conducto radicular con modelos dentales impresos en 3D, basados en imágenes de tomografía computarizada de dientes extraídos con una estructura anatómica del conducto radicular más realista. Los modelos impresos en 3D y el software de computadora, como los simuladores hápticos, ayudan en el desarrollo de las habilidades de endodoncia al proporcionar propiocepción visual, acústica y táctil al usuario.⁽⁹⁾⁽³⁷⁾

3.5.5 Periodoncia

Otra área de la odontología en la que se utiliza la impresión 3D es la periodoncia, con especial atención a la periodoncia regenerativa y las guías impresas en 3D para la corrección gingival estética. El periodonto es un sistema de tejido complejo que consta de varios componentes como hueso, encía y cemento. Cada tejido tiene propiedades diferentes y la regeneración de tejido en la cavidad oral está controlada por varios tipos de células, mecanismos de señalización e interacciones.⁽⁹⁾⁽⁵⁾

3.5.5.1 Enfoques experimentales

El término biofabricación aditiva, que significa la aplicación de la impresión 3D en la fabricación de escamas impresas en 3D para apoyar la regeneración tisular en un defecto se utiliza popularmente en periodoncia. La pérdida de hueso y tejido acompaña a la periodontitis y el concepto detrás del uso de esta tecnología es restaurar el tejido periodontal reabsorbido y las deficiencias óseas al suministrar al tejido circundante factores de crecimiento, células modificadas genéticamente o proteínas bioactivas durante un cierto período de tiempo. Sin embargo, el daño al tejido periodontal también puede ocasionar dificultades con la colocación del implante o causar la pérdida del implante, ya que el tejido restante no proporciona un soporte suficiente para la osteointegración. Aquí nuevamente, la impresión 3D encuentra su aplicación en el procedimiento llamado regeneración tisular guiada. El principio de la regeneración tisular controlada es prevenir el crecimiento de tejidos que se regeneran rápidamente, como el epitelio oral en el defecto y, al mismo tiempo, proporciona espacio al tejido óseo de crecimiento lento para la regeneración. Se están efectuando avances en la estructura de la membrana impresa en 3D, mejorando su integridad y función en la cavidad bucal, haciéndola más resistente a las fuerzas oclusales. Varias técnicas de impresión 3D encuentran aplicación en la regeneración de tejidos en función de los requisitos del área del defecto. Una tomografía computarizada del defecto en un paciente sirve como plantilla para la creación de objetos 3D. A partir de la imagen de TC, se diseña un molde de cera impreso para la producción de una escama que se puede utilizar para mejorar la inmigración de las células del ligamento periodontal, que son responsables de la conexión del cemento dental y la raíz del diente.⁽⁹⁾⁽³⁸⁾

3.5.5.2 Enfoques educativos

En el pasado, los estudiantes de odontología han sido capacitados en maniqués, modelos dentales o directamente en pacientes para procedimientos de exploración, calificación e indexación periodontal. Los estudiantes a menudo han encontrado dificultades, lo que ha provocado molestias al paciente, como dolor y sangrado, al sondear a los pacientes para su examen. Por lo tanto, sería un buen enfoque imprimir modelos 3D que simulen encías, tejidos periodontales y defectos con las características de los tejidos respectivos para desarrollar la propiocepción y habilidad correctas antes de operar al paciente.⁽⁹⁾⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾

Tabla Nro. 7. Aplicaciones de la impresión tridimensional en odontología

Área	Enfoque experimental	Enfoque clínico	Enfoque Educativo
Cirugía oral y Maxilofacial	Es posible generar implantes de injertos personalizados para la regeneración ósea y tisular mediante el uso de materiales biocompatibles para defectos orofaciales	Planificación y realización completa de la reconstrucción quirúrgica de defectos maxilomandibulares mediante técnicas virtuales tridimensionales con carga protésica inmediata	los tejidos duros como los blandos se pueden replicar en una única mandíbula de entrenamiento que también mejora la comunicación del profesional con el paciente
Prostodoncia	Los materiales metálicos a base de polímeros son comunes en la fabricación aditiva de prótesis dentales tales como: coronas dentales, mientras que el uso de cerámicas aún no se ha explorado	-es factible fabricar con éxito prótesis dentales como; parciales removibles para pacientes con apertura bucal reducida o contracturas labiales -se puede emplear para reducir el tedioso trabajo de un técnico dental y crear una estructura más precisa. Más precisión y ajuste marginal en las coronas de metal y las restauraciones provisionales de resina	capacitar a los dentistas en modelos reales personalizados basados en el paciente para la preparación de carillas y coronas
Ortodoncia	La bioimpresión de estructuras complejas de tejido oral puede ayudar a revelar las respuestas biológicas a las fuerzas inducidas por los tratamientos de ortodoncia	-Impresión de alineadores de ortodoncia para corregir dientes con una ligera malposición después de un tratamiento de ortodoncia fijo -fabricación de férulas para pacientes con trastornos de disfunción de la articulación temporomandibular	Los modelos de yeso son reemplazados por información y datos digitales eliminando los problemas de almacenamiento a granel que a menudo enfrentan los ortodontistas, sino que también abre un nuevo horizonte de educación e investigación.
Endodoncia	-Preservar el diente natural en lugar de reemplazarlo por cirugía protésica -Creación de cementos de fosfato de calcio mediante impresión 3D para formar escamas porosas para la regeneración del complejo pulpa-dentina	-La eficacia de la preparación de la cavidad de acceso guiado sobre la convencional. Las guías impresas en 3D pueden ser una ayuda útil para ahorrar tiempo en casos de conductos calcificados y periodontitis apical.	-La sustitución de tipodontos con una estructura anatómica del conducto radicular más realista -Simuladores hápticos, ayudan en el desarrollo de las habilidades de endodoncia al proporcionar propiocepción visual, acústica y táctil al usuario.
Periodoncia	regeneración tisular guiada	Una tomografía computarizada del defecto en un paciente sirve como	imprimir modelos 3D que simulen encías, tejidos periodontales y

	regeneración de tejidos en función de los requisitos del área del defecto	plantilla para la creación de objetos 3D	defectos con las características de los tejidos respectivos para desarrollar la propiocepción y habilidad correctas antes de operar al paciente.
--	---	--	--

Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

3.6 Ventajas y desventajas de la impresión tridimensional en odontología

Los científicos biomédicos, en colaboración con diseñadores de CAD, han producido productos innovadores que pueden mejorar la calidad de vida de los pacientes que padecen diversas enfermedades y trastornos debilitantes. La impresión tridimensional ha sido adoptada por varios institutos de investigación líderes que reconocen su poder para imprimir el futuro de la medicina. Sin embargo, como era de esperar, existen algunas preocupaciones, como ocurre con todas las revoluciones históricas de la tecnología.⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾

Los órganos y tejidos impresos en 3D que se personalizan para los pacientes tienen el potencial de eliminar los costos asociados con el proceso de donación y garantizar que el cuerpo del paciente acepte cada trasplante. Es importante tener en cuenta que la urgencia de que las ideas de atención médica se impriman en 3D en realidad aún está en su infancia. La tecnología de impresión tridimensional se acelerará aún más cuando los estudiantes de medicina estén capacitados en el uso de dicha tecnología y la consideren como una opción para el diagnóstico y el tratamiento. Además de las preocupaciones sobre los costos anteriores, los medios de comunicación, los gobiernos y algunos investigadores han exagerado el impacto actual de la impresión tridimensional, esto genera expectativas poco realistas de reducciones inmediatas de los costos médicos.⁽⁴¹⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾

Si comparamos las ventajas de las restauraciones impresas en 3D con las restauraciones convencionales o CAD / CAM, seguramente las restauraciones de impresión 3D se colocarán encima. Ofrecen la posibilidad de realizar restauraciones de alta calidad con una

fabricación rápida y sencilla. La calidad de estas restauraciones ha sido demostrada por varios estudios, aunque el costo sigue siendo un tema importante. La desventaja de la estereolitografía y el procesamiento de luz digital es que están disponibles solo con polímeros líquidos curables por luz y los materiales de soporte deben eliminarse. Además, la resina ensucia y puede causar irritación de la piel, y también podría causar inflamación por contacto e inhalación. Además, presentan una vida útil limitada en almacenamiento y en depósito y no se pueden esterilizar por calor aunque son una tecnología de alto costo.⁽⁵⁾⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾

Tabla Nro. 8. Aplicaciones de la impresión tridimensional en odontología

Cirugía Maxilofacial			
Autor	Título	Ventajas	Desventajas
Ignacio Velasco⁽⁶⁾	Manejo quirúrgico de tumor mandibular asistido con la tecnología de impresión tridimensional: nota técnica y reporte de caso	Los modelos de la tecnología de prototipo rápido medico (PRM) pueden ser usados en los periodos pre y perioperatorios para mejorar la predictibilidad de tratamientos reconstructivos maxilofaciales	Falta de estudios clínicos acerca de la implementación de modelos creados con la tecnología de impresión 3D como una herramienta efectiva en la planificación de resecciones mandibulares por patología tumoral.
Cristian Zaharia⁽¹⁾	Digital Dentistry — 3D Printing Applications	Los modelos anatómicos hechos con métodos rápidos de creación de prototipos son un enfoque novedoso para la planificación y simulación quirúrgica.	alto costo Estos modelos aún no pueden ser presentados como sustitutos de las técnicas convencionales por la falta de investigaciones sobre el tema.
Antonino Lo Giudice⁽⁴⁸⁾	One Step before 3D Printing— Evaluation of Imaging Software Accuracy for 3-Dimensional Analysis of the Mandible	La precisión de las reconstrucciones 3D de la región craneomaxilofacial mediante tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) es importante para la evaluación morfológica de estructuras anatómicas específicas	A pesar de que la segmentación semiautomática de la mandíbula mostró, en general, alta confiabilidad y alta correlación con la segmentación manual, se debe tener precaución al evaluar las características morfológicas y dimensionales de los cóndilos, ya sea en modelos digitales derivados de CBCT o físicos.
Prostodoncia			

Abdullah Barazanch ⁽²²⁾	Additive Technology: Update on Current Materials	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.	algunos materiales, como el cobalto-cromo, todavía carecen de investigación suficiente para permitir conclusiones definitivas sobre la idoneidad de su uso en la práctica clínica dental.
Gregory B. Brown , ⁽⁴⁵⁾	Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions	Las ventajas de los modelos digitales incluyen ningún requisito de almacenamiento físico; accesibilidad instantánea; capacidad para realizar simulaciones digitales de diagnóstico o tratamiento; percepciones positivas del paciente;	Sin un modelo físico, la planificación del tratamiento para casos complejos en un entorno de enseñanza puede ser un desafío y aún se requiere un modelo físico para la fabricación de aparatos.
Les Kalman ⁽⁴⁹⁾	3D printing of a novel dental implant abutment	Los prototipos de metal toleraron con éxito la fabricación de dientes artificiales, pero persistieron las preocupaciones sobre el paso de rosca y la precisión.	Los prototipos de plástico no eran adecuados debido a problemas de roscado y debilidad del material.
Ortodoncia			
Yu-TzuWang ⁽⁵⁰⁾	Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques	El minitornillo de ortodoncia proporciona un anclaje esquelético con las ventajas de ser relativamente económico, de fácil implementación y lo suficientemente predecible como para usarse de forma rutinaria en la práctica.	Existe un espacio limitado disponible para la colocación de los minitornillos y riesgo potencial de daño de la raíz, punción del seno maxilar y daño neurovascular durante los procedimientos de colocación de minitornillos
Niansong Ye ⁽⁵¹⁾	Precision of 3D-printed splints with different dental model offsets	Las férulas impresas en 3D generadas a partir de modelos dentales offset pueden ajustarse mejor a los dientes que un modelo dental sin offset.	Costos elevados de producción del material a utilizar en las férulas de ortodoncia,
Endodoncia			
J. Anderson ⁽⁵²⁾	Endodontic applications of 3D printing	acceso guiado con obliteración del canal pulpar, aplicaciones en autotrasplantes, planificación quirúrgica y modelado educativo,	La adquisición de experiencia técnica y equipos dentro de las prácticas de endodoncia
Pratik Shah ⁽⁵³⁾	3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics	Los modelos y guías impresos en 3D pueden ayudar a los operadores a planificar y abordar tratamientos endodónticos quirúrgicos y no quirúrgicos complicados y pueden ayudar a adquirir habilidades.	debido a la introducción relativamente reciente de objetos impresos en 3D y simuladores hápticos, hay escasez de literatura publicada con respecto a la endodoncia.
Periodoncia			
Samy Tunchel ⁽⁵⁴⁾	3D Printing/Additive Manufacturing Single Titanium Dental Implants: A Prospective	los implantes dentales producidos con tecnologías 3DP/AM parecen representar una opción clínica exitosa para la rehabilitación de espacios de un solo diente en ambos maxilares,	un número limitado de pacientes tratados y accesorios instalados, además de un período de seguimiento corto

	Multicenter Study with 3 Years of Follow-Up	al menos después de un seguimiento de 3 años.	
Jianyu Chen ⁽⁵⁵⁾	Design and manufacture of customized dental implants by using reverse engineering and selective laser melting technology	La tecnología de impresión 3D de fusión selectiva por láser fue capaz de reproducir los diseños de implantes personalizados y producir una alta densidad y resistencia además de una precisión dimensional adecuada.	Los hallazgos sugieren que la aplicación de implantes hechos a medida colocados inmediatamente se debe realizar con cuidado bajo carga inmediata, especialmente para el implante análogo de raíz.
Graham Gagg ⁽³³⁾	Effects of sintering temperature on morphology and mechanical characteristics of 3D printed porous titanium used as dental implant	La contracción que se produce durante la sinterización de muestras de titanio poroso para implantes impresos en 3D se puede diseñar y controlar. Hay poca variación en la morfología debido al cambio en la temperatura de sinterización final.	Es necesario modificar la especificación actual del polvo para satisfacer la necesidad de una osteointegración óptima.

Elaborado por: Miraglla Lizeth Inca Cargua

3.7 Perspectiva a futuro de la impresión tridimensional en odontología

La impresión 3D tiene la capacidad de revolucionar la odontología. Las diferentes tecnologías se han aplicado para una variedad de propósitos en el campo de la odontología. Actualmente, el enfoque principal es la planificación quirúrgica y la producción indirecta de implantes o alineadores de ortodoncia mediante la impresión de moldes para estos objetos. Además, la impresión 3D se utiliza para crear escaneos personalizados de ingeniería de tejidos para su uso en cirugía oral. Los enfoques experimentales incluyen la aplicación de la impresión 3D para la producción de escamas que sirven como portadores de factores de crecimiento u otras moléculas bioactivas, así como las células. Sin embargo, los resultados de estudios previos muestran que la impresión 3D tiene muchas ventajas, ya sea en la fabricación de férulas de fijación en cirugía oral o en moldes de prótesis de ortodoncia. Debido a que el objeto de impresión se produce de acuerdo con la imagen del paciente, la impresión se puede adaptar para que se ajuste de manera óptima a las condiciones anatómicas y, por lo tanto, se puede mejorar la precisión de los alineadores o implantes.⁽¹⁾⁽⁵⁾⁽⁹⁾⁽⁵⁶⁾

Al seleccionar el sistema de impresión apropiado, se debe tener en cuenta la disponibilidad del material, las propiedades médicas del material, el tiempo requerido y la resolución deseada del objeto de impresión. El problema que requiere más investigación es la limitación del surtido de materiales disponibles, en particular cuando se va más allá de los polímeros canónicos, así como la mejora de la velocidad de impresión y el procesamiento

posterior que requiere. Los materiales utilizados deben cumplir con los requisitos dentales y técnicos y los estándares de biocompatibilidad. Por lo tanto, es de gran interés establecer nuevos materiales imprimibles para odontología que cumplan con estos requisitos, ya que la expansión de la gama de materiales también abre nuevas posibilidades para las aplicaciones clínicas de la impresión 3D en odontología. La impresión 3D tiene un alto potencial para la educación, como se atestiguó anteriormente en todas las principales disciplinas de la odontología. Le da al cirujano una mejor percepción subjetiva del hueso y los dientes en comparación con el tipodonto, estereotipo o los modelos acrílicos.⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁹⁾⁽⁵⁷⁾

4. DISCUSIÓN

El presente estudio se realizó en base a la revisión bibliográfica de artículos científicos publicados en los últimos 10 años, mismos que fueron recopilados de bases de datos de prestigio académico como PubMed, Google Scholar y Elsevier. Tomando en cuenta los criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron 100 artículos científicos, de los cuales se tomaron en cuenta los que presentaban promedio de conteo de citas ACC mayor a 1.5 y factor de impacto SJR, recopilando finalmente un total de 85 artículos para la revisión de literatura.

Después del análisis de los artículos científicos se pudo constatar que la impresión 3D también conocida como fabricación aditiva (AM), ha sido aclamada como la tercera revolución industrial según autores como Javaid⁽⁵⁸⁾ Zaharia⁽¹⁾, Oberoi⁽⁹⁾, Bukhari⁽⁵⁹⁾, Alharbi⁽⁶⁰⁾, debido a que esta tecnología ha provocado un cambio de paradigma en la forma en que se elaboran los objetos ya que usa generalmente para describir un enfoque de fabricación donde un objeto tridimensional es creado agregando múltiples capas de material a la vez. Según Kessler⁽²⁾, Zaharia⁽¹⁾, Oberoi⁽⁹⁾, Dawood⁽⁵⁾ la impresión tridimensional (3D) es una tecnología de rápido desarrollo que ha ganado una amplia aceptación en odontología, mediante la revisión de la literatura se constató que las principales áreas de la odontología en las que se puede utilizar la impresión tridimensional fueron cirugía oral y maxilofacial, prostodoncia, ortodoncia, endodoncia y periodoncia, coincidiendo con Dawood⁽⁵⁾, Zaharia⁽¹⁾, Oberoi⁽⁹⁾, Jian Wu⁽⁵¹⁾, Ebert⁽⁶¹⁾ y Galante⁽⁶²⁾

Cada vez se pueden encontrar más aplicaciones de la impresión tridimensional en odontología, según autores como Haleem⁽⁵⁸⁾, Reymus⁽⁶³⁾, Obregon⁽⁶⁴⁾, Hong Seok⁽⁶⁵⁾ el uso de la tecnología CAD/CAM se ha convertido en algo común en el laboratorio dental y

puede verse cada vez más en áreas como cirugía oral y maxilofacial, en el entorno de la práctica dental, los escáneres intraorales y la tomografía computarizada de haz cónico CBCT son cada vez más comunes, la tecnología de impresión tridimensional ya se usa ampliamente en ortodoncia, donde la impresión de alta resolución en resina ya es una propuesta completamente práctica, y una tecnología similar se está utilizando para imprimir modelos para odontología restauradora.

Autores como Montazerian⁽⁶⁶⁾, Guvendiren⁽⁶⁷⁾, Tasopoulos⁽⁶⁸⁾ recalcan que en cirugía maxilofacial e implantología, la utilización de modelos anatómicos elaborados con distintas técnicas de impresión 3D se está convirtiendo en una gran ayuda para la planificación de tratamientos complejos, además de que la cirugía puede ser menos invasiva y más predecible con el uso de guías quirúrgicas impresas comúnmente en resinas o nailon esterilizable en autoclave.

Aunque las impresoras 3D cada vez presentan un precio más asequible, autores como Zhang⁽⁶⁹⁾, Metlerski⁽³⁹⁾, Cavallo⁽⁷⁰⁾, Han⁽⁶³⁾ informan que la impresión tridimensional tiene como desventaja el costo de funcionamiento, los materiales, el mantenimiento y la necesidad de operadores capacitados, así como la necesidad de posprocesamiento y el cumplimiento de estrictos protocolos de salud y seguridad, estos autores publicaron que al seleccionar el sistema de impresión apropiado, se debe tener en cuenta la disponibilidad del material, las propiedades médicas del mismo, el tiempo requerido y la resolución deseada del objeto de impresión. Según Katreva⁽⁴²⁾, Jacobs⁽⁷¹⁾ y Jindal⁽³²⁾ el problema que requiere más investigación es la limitación del surtido de materiales disponibles, en particular cuando se va más allá de los polímeros canónicos, así como la mejora de la velocidad de impresión y el procesamiento posterior que requiere, los materiales utilizados deben cumplir con los requisitos dentales y técnicos y los estándares de biocompatibilidad.

La impresión 3D tiene un alto potencial para la educación, según Wang⁽⁴⁷⁾, Whitley⁽⁷²⁾, Lo Giudice⁽⁴⁸⁾ la implementación de modelos anatómicos impresos en 3D le da al cirujano una mejor percepción subjetiva del hueso y los dientes en comparación con el tipodonto, estereotipo o los modelos acrílicos. Con el avance de los materiales y la tecnología, la flexibilidad para manipular las características físicas de los materiales fabricados aditivamente, los alumnos tienen la oportunidad de desarrollar mejores habilidades operativas y propioceptivas.

La impresión tridimensional tiene una gran utilidad en la ingeniería de tejidos, puesto que contribuye ampliamente a este campo con los biomateriales creados a través de fabricación aditiva que sirven como andamios para guiar el crecimiento del tejido. Según Tao⁽¹⁴⁾, Fiorenza⁽²¹⁾, Yue Ma⁽⁷³⁾ se han fabricado y probado andamios para varios tejidos, incluidos tendones, ligamentos con ajuste in vitro. Si bien estos andamios se pueden utilizar para la regeneración de tejidos, también se están desarrollando andamios para pruebas de medicamentos. En general, las tecnologías basadas en la impresión 3D tienen un enorme potencial para transformar la investigación, la metodología de tratamiento y las corrientes educativas de la odontología que mejorarán la atención de la salud bucal.

5. CONCLUSIONES

- La impresión tridimensional o fabricación aditiva concluye el gran potencial de la tecnología 3D dentro del área de odontología, en la cual permite el rápido desarrollo y análisis sobre los productos artificiales que imitan los naturales basándose en la fabricación de un elemento 3D donde se forma colocando capas sucesivas de material como: cerámicas, polímeros y metales, transformando a la odontología digital como oportunidad de diagnóstico, tratamiento y educación misma que tiene un gran impacto en todos los aspectos de la odontología moderna.
- Mediante la revisión de la literatura bibliográfica se determinó las principales áreas en las que se utiliza la impresión tridimensional como: cirugía oral y maxilofacial, prostodoncia, ortodoncia, endodoncia y periodoncia, siendo actualmente el enfoque principal, la planificación quirúrgica y la producción indirecta de implantes o alineadores de ortodoncia mediante la impresión de moldes para estos objetos.
- Se concluye que la principal ventaja de la impresión tridimensional en odontología es la precisión y la adaptación anatómica del paciente, debido a que el objeto de impresión se produce de acuerdo con la imagen del paciente, mejorando la precisión de los tratamientos.
- Algunas de las limitaciones o desventajas que presenta la impresión tridimensional incluyen el alto costo de materiales y maquinaria, la falta de estudios clínicos e investigaciones más detalladas acerca de este tema, además de la falta de conocimiento de profesionales y estudiantes de odontología que no permiten que este tema sea considerado como método de diagnóstico y tratamiento dentro del ámbito profesional.

6. PROPUESTA

Mediante la realización de esta investigación se presenta información actualizada y relevante para los profesionales y estudiantes de odontología acerca de la impresión tridimensional en Odontología, sus principales aplicaciones, además de sus ventajas y limitaciones y sus amplios usos en la odontología moderna.

Se propone incentivar a los profesionales odontólogos y a los estudiantes de odontología a profundizar el estudio acerca de la impresión tridimensional en odontología y ampliar sus conocimientos en esta área, puesto que como se presenta en la investigación es un tema que ha ganado importante relevancia en los últimos años, además de que propone métodos que mejorarán el diagnóstico y el tratamiento de los pacientes.

Debido a la falta de conocimientos acerca de la impresión tridimensional en odontología, se recomienda mejorar el plan de estudios en la carrera de odontología, donde se incluyan temas sobre la impresión tridimensional o fabricación aditiva AM en las diferentes asignaturas, puesto que la impresión tridimensional cuenta con varias aplicaciones en todas las áreas de la odontología.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Zaharia C, Gabor A-G, Gavrilovici A, Stan AT, Idorasi L, Sinescu C, et al. Digital Dentistry — 3D Printing Applications. *J Interdiscip Med.* 2017;2(1):50–3.
2. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry-state of the art. *Oper Dent.* 2020;45(1):30–40.
3. Dodziuk H. Applications of 3D printing in healthcare. *Kardiochirurgia i Torakochirurgia Pol.* 2016;13(3):283–93.
4. Bhargav A, Sanjairaj V, Rosa V, Feng LW, Fuh YH J. Applications of additive manufacturing in dentistry: A review. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater.* 2018;106(5):2058–64.
5. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J.* 2015;219(11):521–9.
6. Velasco I, Ramos H, Vahdani S. Manejo quirúrgico de tumor mandibular asistido con la tecnología de impresión tridimensional: nota técnica y reporte de caso. *Rev Chil Cir.* 2017;69(4):332–40.
7. Garcia I, Oliveira L, Bohner L, Pannuti CM, Igai F, Neto PT. Correcting the implant position in 3D printed models by means of verification JIG JIG. 2019;21:39–50.
8. Gutiérrez P, Rivera G, Treviño E, Rodríguez A, Leal P, Alvarez J, et al. Botiquín para el manejo de urgencias médicas en el consultorio dental. *Rev la Asoc Dent Mex.* 2012;69(5):214–7.
9. Oberoi G, Nitsch S, Edelmayer M, Janjic K, Müller AS, Agis H. 3D printing- Encompassing the facets of dentistry. *Front Bioeng Biotechnol.* 2018;6(NOV):1–13.
10. Yang F, Chen C, Zhou Q, Gong Y, Li R, Li C, et al. Laser beam melting 3D printing of Ti6Al4V based porous structured dental implants: Fabrication, biocompatibility analysis and photoelastic study. *Sci Rep.* 2017;7(February):1–12.
11. Berman B. 3-D printing: The new industrial revolution. *Bus Horiz [Internet].* 2012;55(2):155–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>

12. Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, Dostalova T, Prochazka A, Eliasova H, et al. Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomed Eng Online*. 2013;12(1):1–11.
13. Jeong YG, Lee WS, Lee KB. Accuracy evaluation of dental models manufactured by CAD/CAM milling method and 3D printing method. *J Adv Prosthodont*. 2018;10(3):245–51.
14. Tao O, Kort-Mascort J, Lin Y, Pham HM, Charbonneau AM, ElKashty OA, et al. The applications of 3D printing for craniofacial tissue engineering. *Micromachines*. 2019;10(7).
15. Kim SG, Zheng Y, Zhou J, Chen M, Embree MC, Song K, et al. Dentin and dental pulp regeneration by the patient’s endogenous cells. *Endod Top*. 2013;28(1):106–17.
16. Gong T, Heng BC, Lo ECM, Zhang C. Current Advance and Future Prospects of Tissue Engineering Approach to Dentin/Pulp Regenerative Therapy. *Stem Cells Int*. 2016;2016(1):1–13.
17. Ishida Y, Miyasaka T. Dimensional accuracy of dental casting patterns created by 3D printers. 2016;35(2):250–6.
18. Kamio T, Hayashi K, Onda T, Takaki T, Shibahara T, Yakushiji T. Utilizing a low-cost desktop 3D printer to develop a “ one-stop 3D printing lab ” for oral and maxillofacial surgery and dentistry fields. 2018;1–2.
19. Gorseta K, Glavina D, Skrinjaric I. Influence of ultrasonic excitation and heat application on the microleakage of glass ionomer cements. *Aust Dent J*. 2012;57(4):453–7.
20. Nurelhuda NM, Ahmed MF, Trovik TA, Åstrøm AN. Evaluation of oral health-related quality of life among Sudanese schoolchildren using Child-OIDP inventory. *Health Qual Life Outcomes*. 2010;8:1–12.
21. Fiorenza L, Adams JW, Yong R, Ranjitkar S, Hughes T, Quayle M, et al. Technical note : The use of 3D printing in dental anthropology collections. 2018;(May):1–7.

22. Barazanchi A, Li KC, Hons B, Al-amleh B, Lyons K, Waddell JN, et al. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. 2016;00:1–8.
23. Shah P, Chong BS. 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. 2018;16–8.
24. Nagrath AM, Sikora A, Graca J, Chinnici JL, Rahman SU, Sharaschandra G, et al. SC. Mater Today Commun [Internet]. 2018; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.02.016>
25. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations. 2006;137(September).
26. Biggs M, Marsden P. Journal of Forensic Radiology and Imaging Dental identification using 3D printed teeth following a mass fatality incident. J Forensic Radiol Imaging [Internet]. 2019;18(July):1–3. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jofri.2019.07.001>
27. León MR, Sadeghpour M, Özcan M. An update on applications of 3D printing technologies used for processing polymers used in implant dentistry. Odontology [Internet]. 2019;(0123456789). Available from: <https://doi.org/10.1007/s10266-019-00441-7>
28. Trauner KB. The Emerging Role Of 3d Printing In Arthroplasty And Orthopedics. J Arthroplasty [Internet]. 2018; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.02.033>
29. Miyanaji H, Zhang S, Lassell A, Zandinejad AA. Optimal Process Parameters for 3D Printing of Porcelain Structures. Procedia Manuf [Internet]. 2016;5:870–87. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.074>
30. Joo H, Park S, Yun K, Lim H. Complete-mouth rehabilitation using a 3D printing technique and the CAD / CAM double scanning method: A clinical report. J Prosthet Dent [Internet]. :1–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.01.007>

31. Osman RB, Veen AJ Van Der, Huiberts D, Wismeijer D. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials 3D-printing zirconia implants ; a dream or a reality ? An in-vitro study evaluating the dimensional accuracy , surface topography and mechanical properties of printed zirconia implant and discs. *J Mech Behav Biomed Mater* [Internet]. 2017;75(August):521–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.08.018>
32. Jindal P, Juneja M, Bajaj D, Siena FL, Breedon P. Effects of post-curing conditions on mechanical properties of 3D printed clear dental aligners. 2020;(April 2019).
33. Gagg G, Ghassemieh E, Edith F. Effects of sintering temperature on morphology and mechanical characteristics of 3D printed porous titanium used as dental implant. *Mater Sci Eng C* [Internet]. 2013;33(7):3858–64. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2013.05.021>
34. Petrick IJ, Simpson TW. 3D Printing Disrupts Manufacturing How Economies of One Create New Rules of Competition. 2013;(December).
35. George R, Alifui-segbaya F, Lieschke GJ. Biocompatibility of Photopolymers in 3D Printing.
36. Schubert C, Langeveld MC Van, Donoso LA. Innovations in 3D printing : a 3D overview from optics to organs. 2014;159–61.
37. Tamimi F, Torres J, Al-abadalla K, Lopez-cabarcos E, Alkhraisat MH, Bassett DC, et al. Biomaterials Osseointegration of dental implants in 3D-printed synthetic onlay grafts customized according to bone metabolic activity in recipient site. *Biomaterials* [Internet]. 2014;35(21):5436–45. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biomaterials.2014.03.050>
38. Grewal N, Salhan R, Kaur N, Patel H. Comparative evaluation of calcium silicate-based dentin substitute (Biodentine ®) and calcium hydroxide (pulpdent) in the formation of reactive dentin bridge in regenerative pulpotomy of vital primary teeth: Triple blind, randomized clinical trial . *Contemp Clin Dent*. 2016;7(4):457.
39. Lipski M, Metlerski M, Grocholewicz K, Jaro A, Trybek G. Comparison of Presurgical Dental Models Manufactured with Two Different Three-Dimensional

Printing Techniques. 2020;2020.

40. Lavery DP, Thomas MBM, Clark P, Addy LD. The use of 3D metal printing (direct metal laser sintering) in removable prosthodontics. *Dent Update*. 2016;43(9):826–35.
41. Choonara YE, Du Toit LC, Kumar P, Kondiah PPD, Pillay V. 3D-printing and the effect on medical costs: A new era? *Expert Rev Pharmacoeconomics Outcomes Res*. 2016;16(1):23–32.
42. Katreva I, Dikova T, Abadzhiev M, Tonchev T. 3D Printing in Contemporary Prosthodontic. :7–11.
43. Zhang S, Miyajima H, Yang L, Ali A, Dilip JJS. An Experimental Study of Ceramic Dental Porcelain Materials Using A 3D Print (3DP) Process. :991–1011.
44. Yau HT, Yang TJ, Lin YK. Comparison of 3-D Printing and 5-axis Milling for the Production of Dental e-models from Intra-oral Scanning. *Comput Aided Des Appl*. 2016;13(1):32–8.
45. Brown GB, Currier GF, Kadioglu O, Kierl JP. Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2018;154(5):733–9.
46. Anadioti E, Kane B, Soulas E. Current and Emerging Applications of 3D Printing in Restorative Dentistry. *Curr Oral Heal Reports*. 2018;5(2):133–9.
47. Sa L, Kaiwu L, Shenggui C, Junzhong Y, Yongguang J, Lin W, et al. 3D printing dental composite resins with sustaining antibacterial ability. *J Mater Sci [Internet]*. 2019;54(4):3309–18. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2801-7>
48. Giudice A Lo, Ronsivalle V, Grippaudo C, Lucchese A, Muraglia S, Lagrav MO, et al. One Step before 3D Printing — Evaluation of Imaging Software Accuracy for 3-Dimensional Analysis of the Mandible : A Comparative Study Using a Surface-to-Surface Matching Technique.
49. Kalman L. 3D printing of a novel dental implant abutment. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects [Internet]*. 2018;12(4):299–303. Available from:

<https://doi.org/10.15171/joddd.2018.047>

50. Wang YT, Yu JH, Lo LJ, Hsu PH, Lin CL. Developing Customized Dental Miniscrew Surgical Template from Thermoplastic Polymer Material Using Image Superimposition, CAD System, and 3D Printing. *Biomed Res Int.* 2017;2017.
51. Ye N, Wu T, Dong T, Yuan L, Fang B, Xia L. Precision of 3D-printed splints with different dental model offsets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2019;155(5):733–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.09.012>
52. Anderson J, Wealleans J, Ray J. Endodontic applications of 3D printing. *Int Endod J.* 2018;51(9):1005–18.
53. Anders PL, Comeau RL, Hatton M, Neiders ME. The nature and frequency of medical emergencies among patients in a dental school setting. *J Dent Educ.* 2010;74(4):392–6.
54. Tunchel S, Blay A, Kolerman R, Mijiritsky E, Shibli JA. 3D Printing/Additive Manufacturing Single Titanium Dental Implants: A Prospective Multicenter Study with 3 Years of Follow-Up. *Int J Dent.* 2016;2016.
55. Bagheri A, Jin J. Photopolymerization in 3D Printing. 2019;
56. Shao H, Zhao D, Lin T, He J, Wu J. 3D gel-printing of zirconia ceramic parts. *Ceram Int.* 2017;43(16):13938–42.
57. Bose S, Banerjee D, Shivaram A, Tarafder S, Bandyopadhyay A. Calcium phosphate coated 3D printed porous titanium with nanoscale surface modification for orthopedic and dental applications. *Mater Des* [Internet]. 2018;151(2017):102–12. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.04.049>
58. Javaid M, Haleem A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *J Oral Biol Craniofac Res* [Internet]. 2019;9(3):179–85. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2019.04.004>
59. Bukhari S, Goodacre BJ, AlHelal A, Kattadiyil MT, Richardson PM. Three-dimensional printing in contemporary fixed prosthodontics: A technique article. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2018;119(4):530–4. Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.07.008>

60. Alharbi N, Osman R, Wismeijer D. Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2016;115(6):760–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.12.002>
61. Ebert J, Özkol E, Zeichner A, Uibel K, Weiss Ö, Koops U, et al. Direct inkjet printing of dental prostheses made of zirconia. *J Dent Res*. 2009;88(7):673–6.
62. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dent Mater* [Internet]. 2019;35(6):825–46. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.02.026>
63. Reymus M, Fotiadou C, Hickel R, Diegritz C. 3D-printed model for hands-on training in dental traumatology. *Int Endod J*. 2018;51(11):1313–9.
64. Obregon F, Vaquette C, Ivanovski S, Hutmacher DW, Bertassoni LE. Three-Dimensional Bioprinting for Regenerative Dentistry and Craniofacial Tissue Engineering. *J Dent Res*. 2015;94(June):143S-152S.
65. Park HS, Shah C. Development of high speed and high accuracy 3D dental intra oral scanner. *Procedia Eng* [Internet]. 2015;100(January):1174–81. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.481>
66. Montazerian M, Zanotto ED. Bioactive and inert dental glass-ceramics. *J Biomed Mater Res - Part A*. 2017;105(2):619–39.
67. Guvendiren M, Molde J, Soares RMD, Kohn J. Designing Biomaterials for 3D Printing. *ACS Biomater Sci Eng*. 2016;2(10):1679–93.
68. Tasopoulos T, Kouveliotis G, Polyzois G, Karathanasi V. Korištenje 3D ispisa u izradi trajne proteze s opturatorom: Prikaz slučaja. *Acta Stomatol Croat*. 2017;51(1):53–9.
69. Wu J, Li Y, Zhang Y. Use of intraoral scanning and 3-dimensional printing in the fabrication of a removable partial denture for a patient with limited mouth opening. *J Am Dent Assoc* [Internet]. 2017;148(5):338–41. Available from:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ada.2017.01.022>

70. Cavallo L, Marcian A, Cicci M. 3D Printing beyond Dentistry during COVID 19 Epidemic : A Technical Note for Producing Connectors to Breathing Devices. 2020;46–52.
71. Jacobs R, Salmon B, Codari M, Hassan B, Bornstein MM. Cone beam computed tomography in implant dentistry: Recommendations for clinical use. BMC Oral Health. 2018;18(1):1–16.
72. Whitley D, Eidson RS, Rudek I, Bencharit S. In-office fabrication of dental implant surgical guides using desktop stereolithographic printing and implant treatment planning software: A clinical report. J Prosthet Dent [Internet]. 2017;118(3):256–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.10.017>
73. Ma Y, Xie L, Yang B, Tian W. Three-dimensional printing biotechnology for the regeneration of the tooth and tooth-supporting tissues. Biotechnol Bioeng. 2019;116(2):452–68.

8. ANEXOS

8.1 Anexo 1. Tabla de caracterización de artículos científicos escogidos para la revisión.

Título del artículo	Nº citaciones	Año de publicación	Acc	Revista	Factor de impacto SJR	Cuartil	Lugar de búsqueda	Área	Publicación	Colección de datos	Tipo de estudio	Participantes	Contexto estudio	País Estudio	pu

8.2 Anexo 2. Tabla de meta análisis utilizada para la revisión sistemática.

Autor	Título	Aportes de la impresión 3D	área de investigación	Aplicaciones en el área	Ventajas	Desventajas