

Materiales para restauraciones provisionales 3D

Comparativa de sus propiedades físicas y mecánicas frente a restauraciones temporarias cad-cam y convencionales, revisión de literatura

ACTUALIZACIÓN

Materials for 3D provisional restorations

Comparison of their physical and mechanical properties with CAD-CAM and conventional temporary restorations, literature review

Materiais para Restaurações Provisórias 3D

Comparação de suas propriedades físicas e mecânicas com restaurações temporárias CAD-CAM e convencionais, revisão da literatura

Resumen

Los avances en el diseño digital y manufactura aditiva, o impresión tridimensional, han permitido el desarrollo de diversos materiales dentales con múltiples aplicaciones clínicas. Dentro de estos muchos usos, la confección de restauraciones provisionales realizadas mediante impresión tridimensional ha cobrado gran popularidad en los últimos años. Por lo tanto, es deseable que los materiales utilizados en la fabricación de dichas restauraciones presenten adecuadas propiedades físicas y mecánicas, que les permitan cumplir eficazmente con la función para la cual fueron diseñados. El objetivo de este trabajo es, realizar un análisis de la literatura en cuanto a las propiedades físicas (estabilidad de color y sorción acuosa) y mecánicas (resistencia compresiva, resistencia flexural, resistencia al desgaste, dureza), de los materiales utilizados en la confección de restauraciones provisorias obtenidas mediante impresión tridimensional y compararlas con aquellos materiales para provisorios obtenidos mediante el método de diseño y manufactura asistido por computador, cad-cam, y el método tradicional. Para tal fin se realizó una búsqueda en diferentes bases de datos como, la Biblioteca Virtual en Salud Odontología, Pubmed y Google scholar, con un rango de fechas de publicación desde el año 2019 al 2024. A su vez se incorporaron también aquellas publicaciones que surgieron como referencias de los diferentes artículos obtenidos. Se estableció un criterio de elegibilidad que permitió guiar la selección. En este trabajo se pudo establecer que los materiales para impresión tridimensional al ser comparados con materiales para provisorios obtenidos mediante técnica cad-cam y método tradicional presentan limitaciones en sus propiedades físicas y mecánicas. De todas formas, la utilización en el corto plazo de restauraciones provisorias elaboradas mediante tecnología de impresión tridimensional puede ser considerado como una alternativa al uso de provisorios confeccionados mediante cad-cam y el método tradicional.

AUTORÍA

 Gastón Olascuaga Wirgman¹

¹ Prof. Adj. Departamento de Odontología preventiva y restauradora, sub unidad académica Operatoria Dental I, Facultad de Odontología, Universidad de la República.

CORRESPONDENCIA:

Gastón Olascuaga Wirgman
golascu@gmail.com

Recibido: 02/10/2024
Aceptado: 11/08/2025



Palabras clave: provisorios, impresión 3D, manufactura por adición, propiedades.

Abstract

Recent advances in digital design and additive manufacturing, or three-dimensional printing, have enabled the development of various dental materials with multiple clinical applications. Among these numerous uses, the fabrication of three-dimensional printing provisional restorations has gained significant popularity in recent years. It is therefore desirable that the materials used in the production of these restorations exhibit good physical and mechanical properties to fulfill the purpose for which they were created. The objective of this study is to examine the physical properties (color-water absorption) and mechanical properties (compressive strength, flexural strength, wear resistance, hardness), of materials for three-dimensional printing provisional restorations and compare them with materials for provisional restorations obtained through computer-aided design and manufacturing, cad-cam and the traditional method. A search was conducted in various databases, including the BVS, PubMed, and Google Scholar, with publication dates ranging from 2019 to 2024. Additionally, references from the obtained articles were also included. An eligibility criterion was established to guide the selection. In this study, it was found that three-dimensional printing materials, when compared with cad-cam and traditional method materials, present limitations in their physical properties but yield promising results in their mechanical properties. Provisional restorations made through 3D printing technology should be considered as an alternative to those fabricated using CC and TM.

Keywords: Provisional restorations, 3D printing, additive manufacturing, properties.

Introducción

La obtención de una restauración definitiva de calidad dependerá en gran medida, de la realización e instalación de un provisional correctamente diseñado y confeccionado. La restauración provisoria deberá mantener la posición de la pieza en el arco dentario, proteger al complejo dentino pulpar, mantener en salud a los teji-

Resumo

Os recentes avanços no design digital e na manufatura aditiva, ou impressão tridimensional, permitiram o desenvolvimento de diversos materiais dentários com múltiplas aplicações clínicas. Entre esses inúmeros usos, a confecção de restaurações provisórias realizadas por meio de impressão tridimensional ganhou grande popularidade nos últimos anos. Portanto, é desejável que os materiais utilizados na fabricação dessas restaurações exibam boas propriedades físicas e mecânicas para cumprir a função para a qual foram criados. O objetivo deste trabalho é estudar as propriedades físicas (cor-absorção de água) e mecânicas (resistência à compressão, resistência à flexão, resistência ao desgaste, dureza) dos materiais para restaurações provisórias obtidas por impressão tridimensional e compará-los com os materiais para provisórios obtidos pelo método de design e manufatura assistidos por computador, cad-cam e o método tradicional. Para isso, foi realizada uma busca em diversas bases de dados, como a Biblioteca Virtual em Saúde Odontológica, PubMed e Google Scholar, com um intervalo de datas de publicação de 2019 a 2024. Também foram incluídas as publicações que surgiram como referências dos artigos obtidos. Foi estabelecido um critério de elegibilidade para orientar a seleção. Dentre as limitações deste trabalho, foi possível concluir que os materiais para impressão tridimensional quando comparados com os materiais para provisórios cad-cam e método tradicional, apresentam limitações em suas propriedades físicas, mas apresentam resultados adequados em suas propriedades mecânicas. As restaurações provisórias feitas por meio da tecnologia de impressão tridimensional devem ser consideradas uma alternativa às feitas por cad-cam e método tradicional.

Palavras-chave: Provisórios, impressão 3D, manufatura aditiva, propriedades.

dos periodontales y devolver la función y estética perdida. A su vez, el uso de restauraciones provisionarias deberá ser considerado como un elemento clave en el diagnóstico y la planificación terapéutica.⁽¹⁻²⁻³⁻⁴⁾

La indicación clínica de los provisionales es variada, desde restauraciones coronarias parciales hasta exten-

sas rehabilitaciones orales. Estas restauraciones en muchos casos pueden permanecer cumpliendo función por un prolongado periodo de tiempo, por lo tanto, las mismas deberán exhibir adecuadas propiedades tanto físicas como mecánicas.⁽¹⁾

Será por lo tanto necesario que este tipo de restauraciones intermedias o provisorias presenten, una correcta estabilidad de color, una baja sorción acuosa, una alta resistencia al desgaste y dureza superficial, así como adecuados valores de resistencia flexural y compresiva.⁽⁵⁻⁶⁾

De acuerdo a su composición los materiales para provisorios pueden clasificarse en dos grandes grupos: aquellos en base a resinas acrílicas como lo son el polimetacrilato (PMMA), o polietilmetacrilato (PEMA), y aquellos compuestos por bis-acrilatos/resinas (bisfenol-a-glicidimetacrilato, dimetimetacrilato de uretano).⁽⁷⁾

Estos materiales se han utilizado durante muchos años en el proceso convencional de confección de restauraciones provisorias ya sea de manera directa como indirecta. En la actualidad, estos materiales continúan siendo utilizados con algunos cambios en su formulación tanto en la fabricación mediante diseño y manufactura por ordenador, cad-cam (CC), como en la

confección mediante impresión tridimensional (3D), (**Figura 1**). De todas maneras, cabe mencionar que la composición química de muchos de los materiales utilizados en impresión 3D aún al día de hoy son secretos comerciales y por lo tanto poca información se puede obtener por parte de los fabricantes.⁽⁸⁾

La aparición del CC ha permitido desarrollar restauraciones provisorias confeccionadas mediante fresado mecánico (técnica de fabricación subtractiva). El proceso consiste en el tallado (asistido por computador), de bloques prepolidimerizados de resina, para así, obtener una restauración temporaria que al ser comparada con las obtenidas mediante técnicas convencionales presentan mejores propiedades físicas y mecánicas, solucionado a su vez inconvenientes como los altos valores de contracción de polimerización y presencia elevada de monómeros residuales.⁽⁵⁾

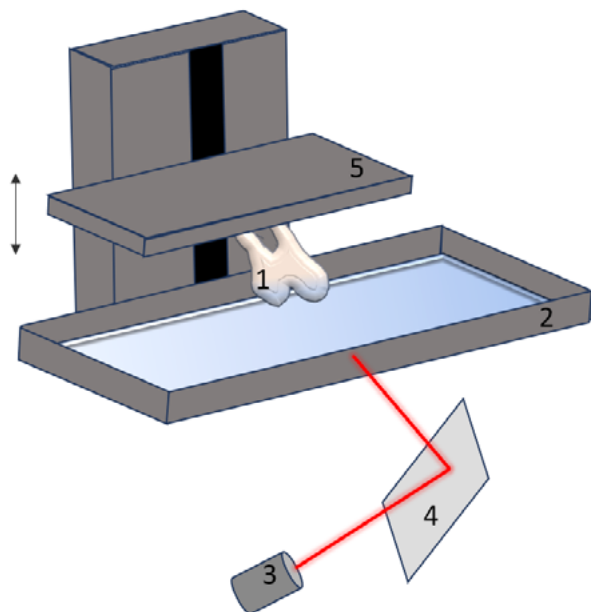
Recientemente las técnicas de fabricación aditiva o impresión 3D (3D) han ido ganando popularidad. Estas técnicas consisten en el agregado sucesivo de finas capas de resina fotopolimerizable para lograr dar forma al objeto deseado. Dentro de los diferentes métodos de impresión 3D encontramos (**Figura 2, Figura 3**), a la estereolitografía (SLA), tratamiento digital de la luz (DLP), sinterizado selectivo por láser (SLS) y el modelado por deposición fundida (FDM).⁽⁹⁾

La impresión 3D a diferencia de la técnica CC ha demostrado un significativo ahorro en material y tiempo a la hora de confeccionar la restauración temporaria. Si bien los materiales para impresión 3D presentan pobres propiedades físicas (al ser comparados con CC y MT), diferentes autores plantean que los mismos exhiben mejores propiedades mecánicas y mayor exactitud en el ajuste de la restauración en comparación a las restauraciones obtenidas mediante el método convencional.⁽¹⁰⁻¹¹⁾ Por lo tanto, deben ser consideradas como una buena alternativa al método CC y al método de confección tradicional (MT).⁽⁸⁾

Como objetivos de este trabajo se plantea describir las características y propiedades de los materiales para provisorios confeccionados mediante impresión 3D. A su vez se busca comparar propiedades físicas (color, sorción acuosa), y mecánicas (resistencia compresiva, resistencia flexural, resistencia al desgaste, dureza), de las resinas para provisorio 3D con respecto a las resinas utilizadas en los procedimientos CC y el MT (se cambió de métodos a introducción).



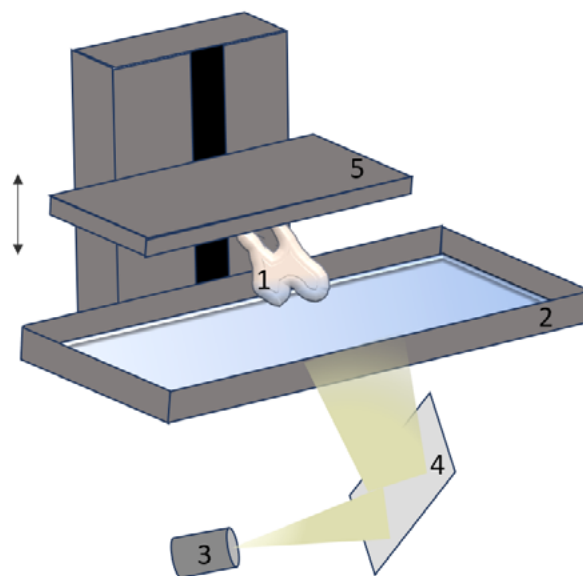
Figura 1. Impresora 3D

**Figura 2**

Tecnología de impresión por estereolitografía

SLA

1. Espécimen impreso
2. Cuna de resina
3. Laser
4. Espejo
5. Plataforma de construcción

**Figura 3**

Tecnología de impresión por tratamiento digital de la luz

DLP

1. Espécimen impreso
2. Cuna de resina
3. Emisor luz led
4. Espejo
5. Plataforma de construcción

Métodos

Para cumplir con los objetivos planteados en el año 2024 se realizó una revisión de la literatura de tipo narrativa. Se consultaron bases de datos como la Biblioteca Virtual en Salud Odontología, Pubmed y Google scholar con un rango de fechas (tecnología relativamente reciente, previo a esas fechas hay poca evidencia) comprendido entre el año 2019 y el año 2024. Se establecieron filtros por idioma (en este caso el inglés), y publicaciones que cumplieran con los requisitos de, ensayos controlados aleatorizados, revisiones, revisiones sistemáticas, meta-análisis, ensayos clínicos. A su vez, fueron también rastreadas mediante búsqueda manual publicaciones referenciadas en los artículos obtenidos

Se realizó una búsqueda utilizando la siguiente combinación de descriptores en inglés: "provisional" AND "3D printing" OR "three dimensional printing" OR "additive manufacturing" AND "properties"

En una primera instancia fueron seleccionadas aquellas publicaciones que coincidían con la temática de estudio planteada, basado en el título de las mismas, resumen y conclusiones. Fueron establecidos criterios de elegibilidad y exclusión de las publicaciones. Las publicaciones seleccionadas fueron sometidas a un proceso de lectura completa, que determinó la selección final incluida en este trabajo.

CRITERIO DE INCLUSIÓN.

- Investigaciones clínicas.
 - » Investigaciones In-vitro.
- Evaluación de las propiedades de los materiales para provisorios 3D.
 - » Trabajos donde exista comparativa de las propiedades físicas entre diferentes materiales de provisorios obtenidos por diferentes métodos de confección.
 - » Trabajos donde exista comparativa de las propiedades mecánicas entre diferentes materiales de provisorios obtenidos por diferentes métodos de confección.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Estudios que comparen otras propiedades que no sean las físicas y mecánicas.
- Literatura no publicada en el idioma inglés.

Mediante el acceso a las bases de datos fueron obtenidos un total de 1407 artículos generales en base a la combinación de los descriptores previamente expuestos y a los filtros previamente establecidos. Mediante búsqueda manual fueron recuperados 10 artículos. Luego de realizar una lectura de sus títulos y resúmenes fueron excluidos 1210 trabajos y 43 se encontraron duplicados, por lo tanto, fueron seleccionados 154 artículos. En tercera instancia y en base a los criterios de elegibilidad previamente establecidos fueron seleccionados para lectura completa 93 artículos, dentro de los cuales conforman parte de esta revisión un total de 27. Aquellos seleccionados mediante la búsqueda manual fueron incluidos dentro del estudio, generando un total de 37 artículos presentes en la revisión (**Figura 4**).

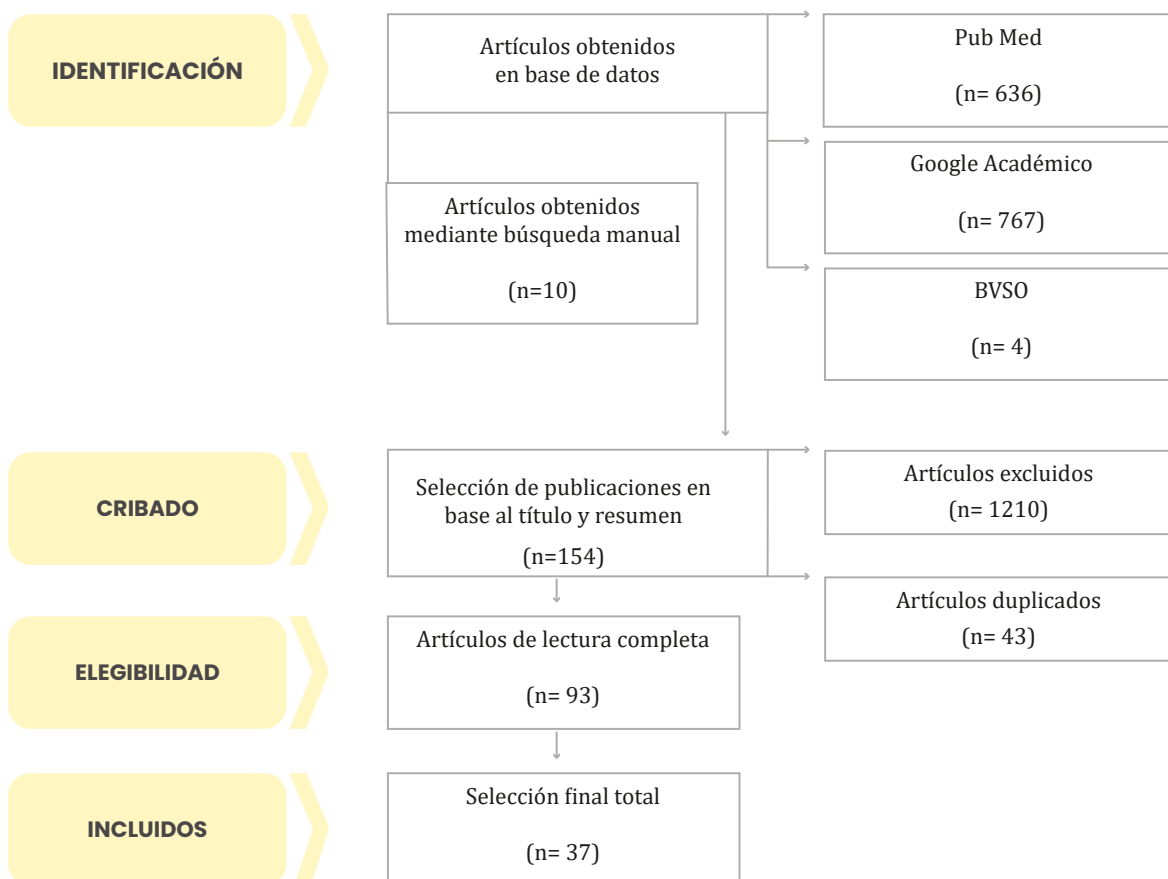


Figura 4. Diagrama de flujo

Desarrollo

Si bien existen trabajos similares donde se comparan las diferentes propiedades de los materiales para provisorio,⁽¹⁻³⁻⁵⁻⁸⁾ es necesario continuar el estudio de la temática debido a lo reciente de la tecnología y, por otra parte, a la constante aparición y desarrollo de nuevos materiales y técnicas, es por esto que el presente trabajo pretende profundizar y dejar en evidencia diferentes aspectos sobre el tema de estudio.

PROPIEDADES FÍSICAS

Dentro de las diferentes propiedades de los materiales para provisorios es relevante evaluar la estabilidad estética de los mismos. Esto es crucial en aquellos provisorios que por diferentes motivos deban permanecer cumpliendo función por un largo periodo de tiempo. Las restauraciones provisorias deberán desde el punto de vista estético exhibir una calidad comparable a la de las piezas naturales.⁽¹⁾

Para conseguir dicho objetivo se debe analizar la técnica de confección de las restauraciones provisorias, el material utilizado, así como diferentes factores que puedan influir como lo son la sorción acuosa del material y la solubilidad del mismo.⁽¹²⁾

La pobre estabilidad de color observada en restauraciones provisorias obtenidas mediante 3D tiene un origen multicausal. Por un lado, cuando se analiza el material utilizado se observa que las resinas obtenidas mediante impresión 3D poseen un menor grado de polimerización de su estructura dado por un menor entrecruzamiento de cadenas polimérica resultando en un material menos denso (a diferencia de los obtenidos mediante CC y MT), esto determina una baja estabilidad de color, inconveniente que persiste inclusive cuando se realiza un adecuado procedimiento de post curado del material.⁽¹³⁻¹⁴⁻¹⁵⁾ Una baja tasa de polimerización y alta presencia de monómeros libres en el material traerá como consecuencia bajas propiedades mecánicas y biológicas, asociadas a una alta probabilidad de decoloración y por lo tanto alteraciones estéticas de la restauración provisorio.⁽¹⁵⁾

Cuando se estudian los diferentes materiales para provisorios se observa que formando parte de los materiales en base a PMMA utilizados en CC y MT se encuentran monómeros de naturaleza hidrofóbica como el metilmetacrilato (MMA). Diferente es el caso en los materiales fotopolimerizables utilizados en manufactura 3D, donde nos encontramos aquí con monómeros HEDMA de naturaleza hidrofílica.⁽¹⁶⁾ Según Berli⁽¹⁷⁾

y Shin⁽¹²⁾ esto puede explicar la mayor sorción acuosa observada en las resinas para provisorio obtenidas mediante impresión 3D, lo que afecta la estabilidad óptica de la restauración. A su vez se debe considerar que las rehabilitaciones realizadas mediante impresión 3D son confeccionadas capa a capa, permitiendo de esta manera que el agua o la sustancia que este en contacto con el material pueda introducirse entre las capas alterando las cadenas de polímeros y afectando las propiedades físicas (estabilidad de color y sorción acuosa), y mecánicas de estos materiales.⁽¹⁷⁻¹⁸⁾

Por último, estudios de Atria⁽¹⁵⁾, relacionan la pobre estabilidad de color de las resinas obtenidas mediante impresión 3D con la falta de partículas de relleno en estos materiales. Song⁽¹⁹⁾ por su parte, atribuye el pobre desempeño de las propiedades físicas de estos materiales con la presencia de una capa final de monómeros sin polimerizar.

PROPIEDADES MECÁNICAS

De manera similar a lo que sucede al analizar resinas compuestas convencionales, existen múltiples factores que pueden afectar el desempeño mecánico de los materiales 3D (resistencia compresiva, resistencia flexural, resistencia al desgaste, dureza). Ejemplo de ello es el tamaño y forma de las partículas de relleno, tipo de monómero, viscosidad y fluidez entre otros. Sumado a esto, existen características inherentes a estos materiales como lo son, el tipo de impresora utilizada, el tiempo de polimerización, la fuente de luz utilizada por la impresora y los procedimientos post curado.⁽²⁰⁾ A su vez, se deberá considerar la dirección u orientación de impresión del material (**Figura 5**), como un factor influyente en las propiedades mecánicas finales del material, en la exactitud de la impresión y las características superficiales de la restauración terminada. Al variar la orientación de impresión el haz de luz deberá atravesar un mayor o menor espesor de material y esto influirá en el grado de polimerización del mismo afectando el desempeño mecánico del material y restauración terminada.⁽²¹⁾ Alharbi y colaboradores⁽¹⁰⁾ establecen que se obtienen mejores valores de resistencia compresiva de las resinas 3D cuando estas se confeccionan con una dirección de impresión perpendicular a la superficie que recibirá la carga. Es necesario también considerar el efecto que producen los diferentes espesores de las capas de resina que constituyen las restauraciones 3D. Diferentes estudios,⁽¹⁴⁻²²⁾ resaltan que, a menor grosor de capa, mejor polimerización de la misma y por lo tanto mejores propiedades finales del material.

Por otra parte, Al-Dulaijan⁽²³⁾ y colaboradores concluyen que será fundamental realizar un adecuado procedimiento de post curado del material de impresión 3D, este procedimiento consiste en limpieza del mismo (en muchos casos alcohol isopropílico), para luego reali-

zar un nuevo procedimiento de fotopolimerización logrando de esta manera un mayor grado de conversión de monómeros a polímeros (dejando pocos monómeros residuales libres), mejorando de forma considerable la resistencia flexural del material.

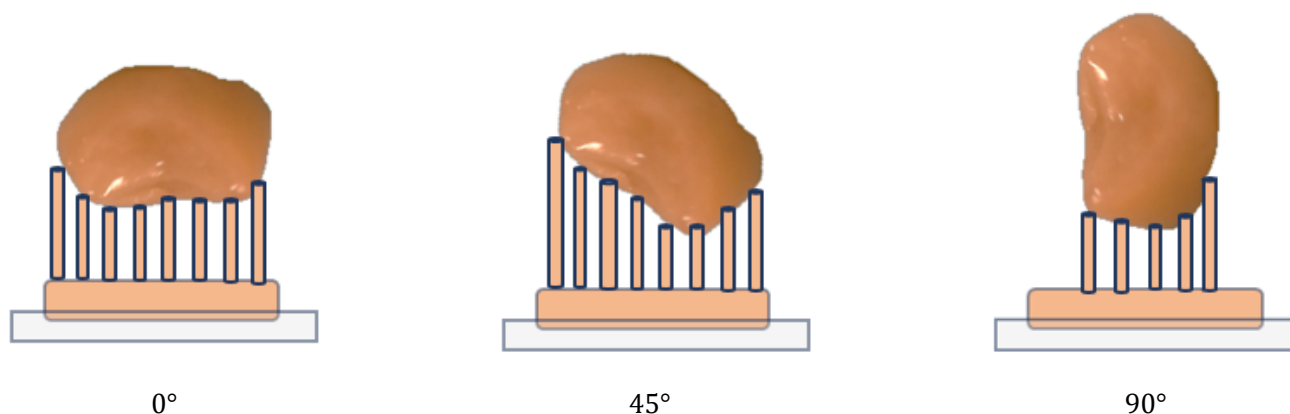


Figura 5. Diferentes angulaciones de impresión

Discusión

Del estudio las propiedades físicas de las restauraciones provisionales obtenidas mediante 3D se desprende que, independientemente de la composición del material o la tecnología de impresión utilizada, estas restauraciones exhibirán pobres resultados en comparación a las restauraciones provisionales obtenidas mediante CC o MT.⁽¹⁾

Trabajos de Song y colaboradores,⁽¹⁹⁾ concluyen que la estabilidad en el color de resinas de PMMA para provisionales 3D en comparación con aquellos CC y MT, es menor, siendo más inestable en el tiempo y con peores resultados al corto y mediano plazo. Las diferencias se hacen notorias sobre todo al compararlas con las restauraciones CC.

En la misma línea Shin y colaboradores,⁽¹²⁾ al estudiar diferentes bloques de resina obtenidos por 3D, CC y MT los cuales fueron sumergidos y almacenados en diferentes sustancias (agua destilada, café, jugo de uva y curry), y por diferentes periodos de tiempo (hasta 30 días), observaron que el grado de decoloración tiene relación directa con el material utilizado y el tiempo de almacenamiento en la sustancia colorante. Dentro de los materiales evaluados las resinas obtenidas por 3D presentaron notorios cambios en el color, incluso luego de breves periodos de tiempo (en todas las sustancias

evaluadas). Comparado a los bloques obtenidos mediante CC, las resinas 3D presentaron una pobre estabilidad de color.⁽¹²⁾

De manera similar Atria y colaboradores,⁽¹⁵⁾ y Taşın y colaboradores,⁽¹⁶⁾ al estudiar la estabilidad de color de las resinas híbridas para impresión 3D y compararlas con resinas PMMA obtenidas por el método CC, observaron que las resinas obtenidas mediante 3D presentaban una baja estabilidad del color en el tiempo. En contrapartida encontraron mayor estabilidad de color de las resinas híbridas obtenidas mediante 3D en comparación con resinas PMMA y bis acrílicas obtenidas por MT.

Song y colaboradores,⁽¹⁹⁾ estudiaron la estabilidad de color de resinas para provisionales obtenidas por 3D, CAD-CAM y MT. Las muestras de este estudio in-vitro fueron sumergidas y almacenadas 12 semanas en una solución de café y de té. Los autores concluyen que independientemente del material y la sustancia colorante, todas las muestras mostraron un cambio de color estadísticamente significativo. Las muestras obtenidas mediante tecnología CC y 3D mostraron un cambio en su color mayor luego de las 8 semanas en comparación con las resinas obtenidas por el MT.

Trabajos de Kim y colaboradores⁽²⁴⁾ evaluaron la estabilidad de color y translucidez en el tiempo de 5 tipos diferentes de resinas para impresión 3D. Las muestras

fueron confeccionadas mediante tecnología DLP, y almacenadas en agua destilada (a 37 grados Celsius y en oscuridad), por diferentes periodos de tiempo que comprendían entre 1 día y 6 meses. Los resultados de esta investigación in-vitro establecieron que luego de un mes, algunas muestras mostraron cambios perceptibles en el color mientras otra no. No se hallaron cambios en la translucidez. A los 6 meses todas las muestras mostraron cambios notorios de color y pequeños cambios en la translucidez. Como conclusión los autores reportan que luego de 6 meses el color de todas las resinas para impresión 3D testeadas cambia, transformándose en materiales más oscuros, amarillos y opacos. Que tan notorio el cambio dependerá de la resina utilizada. Por el contrario, los cambios en la translucidez de todos los materiales estudiados son escasos.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

En una reciente revisión sistemática,⁽¹⁾ donde se estudiaron diferentes propiedades mecánicas de las resinas 3D y se las comparo con las resinas obtenidas mediante CC y MT, se observó que las restauraciones impresas de manera 3D muestran (a diferencia de los que sucede con las propiedades físicas), mejores resultados en algunas de estas propiedades.

Alzahrani y colaboradores,⁽²⁵⁾ identifican diferentes factores que pueden influir en las propiedades mecánicas de las resinas 3D, como, por ejemplo, el grosor de la capa de resina impresa, el tipo de tratamiento de

post curado del material, contracción de polimerización entre las capas del material, tiempo e intensidad de fotopolimerización y dirección de impresión. Alharbi y colaboradores,⁽¹⁰⁾ establecen que la resistencia compresiva de las resinas 3D se incrementa de manera considerable cambiando el ángulo de impresión (entre 0°, 45°, 90°).

Los valores más altos de resistencia compresiva se logran cuando la impresión de las resinas 3D se realiza de forma perpendicular a la dirección en donde se aplicará la carga (**Figura 6**). Por su parte Derban y colaboradores⁽²⁶⁾, plantean que la resistencia flexural es uno de los principales factores que influyen en el comportamiento mecánico de este tipo de restauraciones. En este sentido, trabajos in-vitro de los autores arrojan como conclusiones que el ángulo de impresión tiene un efecto significativo en la resistencia flexural del material, logrando mejores valores de resistencia flexural con angulaciones de impresión de 90° y 0° y peores resultados en angulaciones de 45°. ⁽²⁶⁾

Son varios los trabajos ⁽²⁷⁻²⁸⁾, que han evaluado la resistencia flexural de restauraciones provisionales confeccionadas por método de 3D, CC y MT. Estos trabajos coinciden en que existe una mayor resistencia flexural en aquellas restauraciones CC compradas a aquellas obtenidas por el MT y 3D. Esto en parte se puede explicar debido a que las resinas utilizadas en la técnica CC (a diferencia de las resinas utilizadas en 3D y MT), son materiales más densos, con menos porosidades y menor presencia de monómeros libres en su composición.

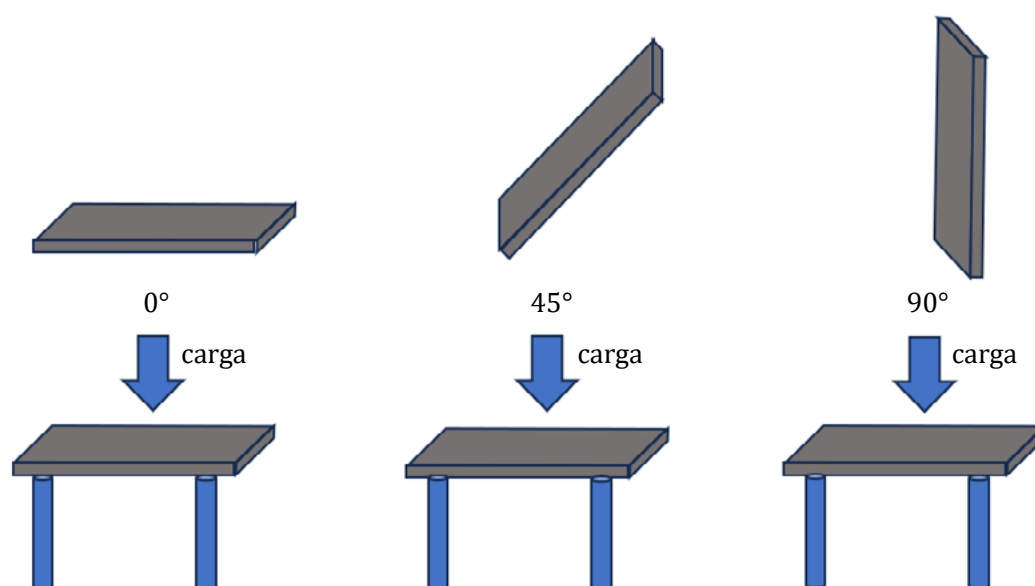


Figura 6. Aplicación de carga en especímenes impresos con diferente angulación.

Por su parte Aati y colaboradores ⁽²⁹⁾, encontraron que se logran mejores valores de resistencia flexural de las restauraciones obtenidas mediante impresión 3D si se le agrega al material de impresión nano partículas de óxido de zirconio.

La resistencia al desgaste es otro de los factores que tiene gran influencia en la funcionalidad de las restauraciones provisionales a largo plazo. ⁽³⁰⁾

Trabajos in vitro de Myagmar y colaboradores ⁽³¹⁾, evidencian una mayor resistencia al desgaste (luego de someter las muestras a repetidos ciclos masticatorios), y una superficie más lisa en los especímenes obtenidos mediante técnicas 3D y CAD-CAM en comparación con las muestras obtenidas por el método MT.

Por otra parte, Park y colaboradores ⁽³²⁾, llegan a la conclusión que las resinas de impresión 3D presentan valores de desgaste del material similar a las obtenidas por el MT. Los autores interpretan que los diferentes resultados entre los estudios pueden explicarse por las diferencias en la tecnología de impresión y el método de post-curado utilizados (**Figura 7**).

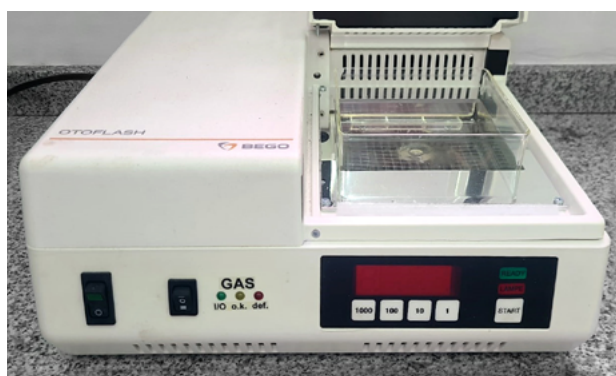


Figura 7. Unidad de Post-curado de resina 3D.

Kessler y colaboradores ⁽³⁰⁾, comparan la resistencia al desgaste de diferentes materiales resinosos obtenidos mediante tecnología, 3D, CC y un Composite de aplicación directa. Los autores concluyen que dentro de las limitaciones del estudio in-vitro, los valores de resistencia al desgaste de las resinas obtenidas mediante tecnología 3D son similares a aquellos obtenidos por la técnica CC. A su vez establecen que aquellos materiales con menor índice de desgaste son los que presentan mayor contenido de relleno en su composición, en este caso el composite de aplicación directa (Bis-GMA) y una de las resinas de impresión 3D (UDMA), fueron los

materiales que mostraron los mejores resultados. Por lo tanto, los autores dentro de sus recomendaciones plantean la utilización de resinas con alto índice de relleno en su composición.

La dureza podría ser considerada como un indicador de densidad del material, y por lo tanto se podría hipotetizar que, a mayor densidad, mayor resistencia al desgaste y menor deterioro superficial del material. ⁽³³⁾ Sin embargo, la dureza por sí sola no puede ser utilizado como un indicador de rigidez, ni resistencia del material y por lo tanto esta propiedad aislada no puede ser considerada un factor que pueda predecir el comportamiento mecánico de las restauraciones a largo plazo. ⁽³⁴⁾

Trabajos de Souza y colaboradores ⁽³⁵⁾, y Perea-Lowery y colaboradores ⁽³⁶⁾, al estudiar la dureza Vickers de materiales resinosos obtenidos mediante el método 3D y el método CC, observan un mejor desempeño y resultados en los materiales obtenidos mediante el método CC. Los autores explican estos resultados debido a que los materiales utilizados en el método de confección CC son más densos y por lo tanto presentan menos porosidades internas.

Simoneti y colaboradores ⁽³⁷⁾, en un estudio in-vitro compara la dureza Vickers de materiales para provisionales resinosos obtenidos por impresión 3D y materiales para provisional obtenidos mediante MT de PMMA y resinas bis-acrílicas. Los autores concluyen que las muestras confeccionadas mediante el MT utilizando PMMA logran los valores más altos de dureza Vickers, a su vez observan valores similares entre las muestras obtenidas por el método de impresión 3D y las resinas bis acrílicas del MT.

Conclusiones

Dentro de las limitaciones del presente trabajo como lo son, la escasa evidencia clínica existente, así como la falta de trabajos a mediano y largo plazo in vivo, se puede concluir que:

- Los materiales utilizados para la confección de provisorios mediante impresión 3D presentan una pobre estabilidad de color y mayor absorción de agua al ser comparados con materiales confeccionados mediante el método de CC y el MT, generando de esta manera restauraciones que con el tiempo se volverán más oscuras, amarillas y opacas.
- Los materiales de impresión 3D exhiben valores de resistencia flexural comparables y en algunos casos mayores a los obtenidos por método CC y MT. En cuanto a la resistencia al desgaste los materiales de impresión 3D presentan valores similares o incluso mejores que los obtenidos con CC y MT.
- El ángulo en el que se realiza la impresión 3D puede incrementar o disminuir la resistencia compresiva y flexural de los materiales resinosos.
- Los materiales para restauraciones provisorias obtenidas mediante CC, logran mejores valores de dureza frente a las restauraciones 3D y MT.
- Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en la confección de restauraciones provisorias 3D pueden variar notoriamente debido a la tecnología de impresión utilizada, tiempo de polimerización, al ángulo de impresión, al material utilizado y a las técnicas y procesos de post curado.
- La utilización de restauraciones provisorias 3D durante cortos periodos de tiempo (sobre todo en el sector estético), pueden ser considerados como una alternativa a los materiales producidos por métodos de manufactura CC y MT.

REFERENCIAS

1. Jain S, Sayed ME, Shetty M, Alqahtani SM, al Wadei MHD, Gupta SG, et al. Physical and Mechanical Properties of 3D-Printed Provisional Crowns and Fixed Dental Prosthesis Resins Compared to CAD/CAM Milled and Conventional Provisional Resins: A Systematic Review and Meta-Analysis. Vol. 14, Polymers. MDPI; 2022.
2. Al Wadei MHD, Sayed ME, Jain S, Aggarwal A, Alqarni H, Gupta SG, et al. Marginal Adaptation and Internal Fit of 3D-Printed Provisional Crowns and Fixed Dental Prosthesis Resins Compared to CAD/CAM-Milled and Conventional Provisional Resins: A Systematic Review and Meta-Analysis. Vol. 12, Coatings. MDPI; 2022.
3. Alt, V.; Hanning, M.; Wostmann, B.; Balkenhol, M. Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CA versus directly fabricated restorations. *Dent. Mater.* 2001, 27, 339–347.
4. Gratton, D.G.; Aquilino, S.A. Interim restorations. *Dent. Clin. N. Am.* 2004, 48, 487–497.
5. Taşın, S.; Ismatullaev, A. Comparative evaluation of the effect of thermocycling on the mechanical properties of conventionally polymerized, CAD-CAM milled, and 3D-printed interim materials. *J. Prosthet. Dent.* 2022, 127, 173.e1–173.e8.
6. Revilla-León, M.; Meyers, M.J.; Zandinejad, A.; Özcan, M. A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing workflow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations. *J. Esthet. Restor. Dent.* 2019, 31, 51–57.
7. Burns, D.R.; Beck, D.A.; Nelson, S.K. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: Report of the committee on research in fixed prosthodontics of the academy of fixed prosthodontics. *J. Prosthet. Dent.* 2003, 90, 474–497.
8. Pantea M, Ciocoiu RC, Greabu M, Totan AR, Imre M, Țâncu AMC, et al. Compressive and Flexural Strength of 3D-Printed and Conventional Resins Designated for Interim Fixed Dental Prostheses: An In Vitro Comparison. *Materials*. 2022 May 1;15(9).
9. Tian Y, Chen CX, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, et al. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. Vol. 2021, Scanning. Hindawi Limited; 2021.
10. 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.* 2016, 115, 760–767.
11. Alharbi, N.; Osman, R.B.; Wismeijer, D. Factors Influencing the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Full-Coverage Dental Restorations Using Stereolithography Technology. *Int. J. Prosthodont.* 2016, 29, 503–510.
12. Shin JW, Kim JE, Choi YJ, Shin SH, Nam NE, Shim JS, et al. Evaluation of the color stability of 3d-printed crown and bridge materials against various sources of discoloration: An in vitro study. *Materials*. 2020 Dec 1;13(23):1–13.
13. Jain, S.; Sayed, M.; Ahmed, W.M.; Halawi, A.H.A.; Najmi, N.M.A.; Aggarwal, A.; Bhandi, S.; Patil, S. An in-vitro study to evaluate the effect of denture cleansing agents on color stability of denture bases fabricated using CAD/CAM milling, 3D-printing and conventional techniques. *Coatings* 2021, 11, 962.
14. Tahayeri, A.; Morgan, M.; Fugolin, A.P.; Bompolaki, D.; Athirasala, A.; Pfeifer, C.S.; Ferracane, J.L.; Bertassoni, L.E. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent. Mater.* 2018, 34, 192–200.
15. Atria, P.J.; Lagos, I.; Sampaio, C.S. In vitro evaluation of surface roughness, color stability, and color masking of provisional restoration materials for veneers and crowns. *Int. J. Comput. Dent.* 2020, 23, 343–350.

16. Taşın S, Ismatullaev A, Usumez A. Comparison of surface roughness and color stainability of 3-dimensionally printed interim prosthodontic material with conventionally fabricated and CAD-CAM milled materials. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2022;128(5):1094–101.
17. Berli, C.; Thieringer, F.M.; Sharma, N.; Müller, J.A.; Dedem, P.; Fischer, J.; Rohr, N. Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *J. Prosthet. Dent.* 2020, 124, 780–786.
18. Gad, M.M.; Fouda, S.M.; Abualsaud, R.; Alshahrani, F.A.; Al-Thobity, A.M.; Khan, S.Q.; Akhtar, S.; Ateeq, I.S.; Helal, M.A.; Al-Harbi, F.A.; et al. Strength and surface properties of a 3D-printed denture base polymer. *J. Prosthodont.* 2021, 31, 412–418.
19. Song, S.-Y.; Shin, Y.-H.; Lee, J.-Y.; Shin, S.-W. Color stability of provisional restorative materials with different fabrication methods. *J. Adv. Prosthodont.* 2020, 12, 259–264.
20. Atria PJ, Bordin D, Marti F, Nayak VV, Conejo J, Benalcázar Jalkh E, et al. 3D-printed resins for provisional dental restorations: Comparison of mechanical and biological properties. *J Esthet Restor Dent* [Internet]. 2022;34(5):804–15.
21. Tahayeri A, Morgan MC, Fugolin AP, et al. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent Mater.* 2018;34:192–200.
22. Ibrahim, A.; Shehawy, D.E.; El-Naggar, G. Fracture resistance of interim restoration constructed by 3D printing versus CAD/CAM technique (in vitro study). *Ain Shams Dent. J.* 2020, 23, 13–20.
23. Al-Dulaijan YA, Alsulaimi L, Alotaibi R, Alboainain A, Akhtar S, Khan SQ, et al. Effect of printing orientation and postcuring time on the flexural strength of 3D-printed resins. *J Prosthodont.* 2023;32(S1):45–52.
24. Kim J-E, Choi W-H, Lee D, Shin Y, Park S-H, Roh B-D, et al. Color and translucency stability of three-dimensional printable dental materials for crown and bridge restorations. *Materials (Basel).* 2021;14(3):650.
25. Alzahrani SJ, Hajjaj MS, Azhari AA, Ahmed WM, Yeslam HE, Carvalho RM. Mechanical Properties of three-dimensional Printed Provisional Resin Materials for crown and fixed dental prosthesis: A systematic review. *Bioengineering (Basel).* 2023;10(6).
26. Derban P, Negrea R, Rominu M, Marsavina L. Influence of the printing angle and load direction on flexure strength in 3D printed materials for provisional dental restorations. *Materials (Basel).* 2021;14(12):3376.
27. Ellakany, P.; Fouda, S.M.; Mahrous, A.A.; AlGhamdi, M.A.; Aly, N.M. Influence of CAD/CAM milling and 3d-printing fabrication methods on the mechanical properties of 3-unit interim fixed dental prosthesis after thermo-mechanical aging process. *Polymers* 2022, 14, 4103.
28. Turksayar, A.A.D.; Donmez, M.B.; Olcay, E.O.; Demirel, M.; Demir, E. Effect of printing orientation on the fracture strength of additively manufactured 3-unit interim fixed dental prostheses after aging. *J. Dent.* 2022, 124, 104155.
29. Aati S, Akram Z, Ngo H, Fawzy AS. Development of 3D printed resin reinforced with modified ZrO₂ nanoparticles for long-term provisional dental restorations. *Dent Mater.* 2021;37(6):e360–74.
30. Kessler A, Reymus M, Hickel R, Kunzelmann K-H. Three-body wear of 3D printed temporary materials. *Dent Mater.* 2019;35(12):1805–12.
31. Myagmar G, Lee J-H, Ahn J-S, Yeo I-SL, Yoon H-I, Han J-S. Wear of 3D printed and CAD/CAM milled interim resin materials after chewing simulation. *J Adv Prosthodont* [Internet]. 2021;13(3):144–51.

32. Park JM, Ahn JS, Cha HS, Lee JH. Wear resistance of 3D printing resin material opposing zirconia and metal antagonists. *Materials (Basel)* 2018;11:1043.
33. Dighekar S, Madhav VN, Palaskar J. Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *J Indian Prosthodont Soc.* 2016 Oct-Dec;16(4):328-34.
34. Diaz-Arnold AM, Dunne JT, Jones AH. Microhardness of provisional fixed prosthodontic materials. *J Prosthet Dent.* 1999 Nov;82(5):525-8.
35. Souza ALC, de Oliveira Cruvinel Filho JL, da Rocha SS. Flexural strength and Vickers hardness of milled and 3D-printed resins for provisional dental restorations. *Brazilian Journal of Oral Sciences.* 2022;22.
36. Perea-Lowery L, Gibreel M, Vallittu PK, Lassila L. Evaluation of the mechanical properties and degree of conversion of 3D printed splint material. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021;115(104254):104254.
37. Simoneti DM, Pereira-Cenci T, Dos Santos MBF. Comparison of material properties and biofilm formation in interim single crowns obtained by 3D printing and conventional methods. *J Prosthet Dent.* 2022;127(1):168-72.

Disponibilidad de datos

Todo el conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio fue publicado en el propio artículo.

Conflicto de intereses

El autor declara que no existe conflicto de intereses.

Fuente de Financiamiento

Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de agencias de financiación en los sectores público, comercial o sin fines de lucro.

Contribución de autoría

NOMBRE Y APELLIDO	COLABORACIÓN ACADÉMICA													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Gastón Olascuaga Wirgman	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

- | | | | |
|----|--------------------------------|-----|-------------------------------|
| 1. | Administración del proyecto | 8. | Metodología |
| 2. | Adquisición de fondos | 9. | Recursos |
| 3. | Análisis formal | 10. | Redacción - borrador original |
| 4. | Conceptualización | 11. | Software |
| 5. | Curaduría de datos | 12. | Supervisión |
| 6. | Escritura - revisión y edición | 13. | Validación |
| 7. | Investigación | 14. | Visualización |

Nota de aceptación:

Este artículo fue aprobado por la editora de la revista MSc. Dra. Natalia Tancredi.