



## ARTICULO DE REVISIÓN

# MICRODUREZA, RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y GRADO DE CONVERSIÓN EN RESINAS COMPOSITAS: SU RELACIÓN CON EL PROCESO DE FOTOPOLIMERIZACIÓN, COMO INTERPRETARLOS Y APLICARLOS A LA SELECCIÓN DEL MATERIAL RESTAURADOR

## COMPOSITE RESIN'S MICROHARDNESS, FLEXURAL STRENGTH AND DEGREE OF CONVERSION: THEIR RELATIONSHIP WITH THE LIGHT-CURING PROCESS, HOW TO UNDERSTAND AND APPLY THEM TO THE RESTORATIVE MATERIAL SELECTION

Roque, J.<sup>1</sup>

1. Profesor Universitario III, Área Restaurativa, Facultad Odontología, Universidad de El Salvador. Investigador externo Facultad Odontología, Universidad Evangélica de El Salvador. Open Researcher and Contributor ID (ORCID): 0000-0002-7504-680X

Volumen 12.  
Número 2.  
Mayo - Agosto 2023

Recibido: 16 septiembre 2022  
Aceptado: 11 noviembre 2022

## RESUMEN

Durante la polimerización de las resinas compositas, se generan una serie de procesos que pueden afectar las propiedades físico-mecánicas de los materiales restauradores, alterando así el desempeño de la restauración por una fotopolimerización deficiente, la cual puede afectar las propiedades físico-mecánicas que repercuten en la estabilidad del color, presencia de defectos marginales, disminución de la resistencia al desgaste, reducida resistencia adhesiva, incapacidad de resistir cargas compresivas, etc. Propiedades físico-mecánicas como el grado de conversión, la microdureza, el módulo elástico y la resistencia a la flexión son importantes de entender por que pueden determinar el comportamiento de los materiales al ser sometidos a cargas funcionales; su relación con el proceso de fotopolimerización es directa, pues dependiendo de la calidad de ésta las propiedades pueden verse afectadas o potencializadas. La elección de un material restaurador debe ser dependiente de sus indicaciones funcionales, éstas corresponden a sus propiedades físico-mecánicas, de las cuales es necesario conocer e interpretar las pruebas que se utilizan para medirlas. Ciertas propiedades físico-mecánicas son deseables de ser similares a las de los tejidos dentales, tal es el caso de la microdureza, módulo de elasticidad y Resistencia a la flexión, otras definen parámetros catalogados como aceptables o funcionales, tal es el caso del grado de conversión (50%) y la profundidad de fotopolimerización del fondo a la superficie (80%), teniendo un material restaurador que alcanzar dichos parámetros en casos específicos donde se necesita que sean resistentes, o bien superarlos en otros casos donde las necesidades funcionales lo requieran.

**Palabras Clave:** Microdureza, grado de conversión, módulo de elasticidad, fotopolimerización, resina composita.

## ABSTRACT

During composite resins polymerization, a series of processes are generated that can affect the physical-mechanical properties of restorative materials, thus altering the performance of the restoration due to poor light-curing, which can affect the physical-mechanical properties that affect color stability, presence of marginal defects, decreased wear resistance, reduced adhesive strength, disability to resist compressive loads, etc. Physicomechanical properties such as the degree of conversion, microhardness, elastic modulus and flexural strength can determine the behavior of materials when subjected to functional load, so they're important to understand; its relationship with the photopolymerization process is direct, since depending on the quality of these properties they can be affected or enhanced. A restorative material selection must be dependent on its functional indications, that correspond to its physical-mechanical properties, of which it is necessary to know and interpret the tests used to measure them. Certain physical-mechanical properties are desirable to be similar to those of dental tissues, such as microhardness, elastic modulus and flexural strength, others define parameters classified as acceptable or functional, as the degree of conversion (50%) and the depth of photopolymerization from the bottom to the surface (80%), in specific cases where they need to be resistant, restorative material must reach these parameters, or exceed them in other cases where functional needs require it.

**Key Words:** Microhardness, degree of conversion, elastic modulus, light-curing, composite resin.

## INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de materiales dentales y su función o desempeño clínico, es común encontrar referencias que hacen alusión a sus propiedades físico-mecánicas, donde se detallan un sin fin de diferentes pruebas de laboratorio con la finalidad de determinar diferentes características de los materiales dentales. Dichas propiedades determinan el comportamiento de los materiales ante la dinámica de las fuerzas masticatorias que inciden sobre los dientes restaurados, desencadenando una serie de respuestas sobre el complejo diente/restauración, y es gracias a las diferentes pruebas que miden las propiedades físico-mecánicas de los materiales que el clínico puede formar un criterio sobre que material restaurador implementar en cada caso, lo cual permitirá entender como éste y los tejidos responderán ante esas fuerzas incidentes, idealmente de forma sinérgica ya sea deformándose temporalmente para luego retomar su forma original, o bien dependiendo de las necesidades puntuales resistiendo sin deformarse.

En el caso del material restaurador polimérico, lo anterior va a depender de su composición estructural y del proceso de fotopolimerización.

Además de la composición de los materiales poliméricos, la fotopolimerización es uno de los procesos que está más directamente relacionado en el desarrollo de adecuadas propiedades físico-mecánicas y ésta se ve influida por la calidad, intensidad, incidencia, duración y cantidad de luz polimerizante sobre el material, lo cual va a determinar en gran manera las propiedades físico-mecánicas del mismo y como se comportará ante la incidencia de las fuerzas durante su funcionamiento.

## FOTOPOLIMERIZACIÓN Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS POLÍMEROS

La absorción de luz por los fotoiniciadores presentes en la fase orgánica de los materiales poliméricos es esencial para el desarrollo de la reacción fotoquímica de polimerización<sup>1</sup>, durante la cual las moléculas de monómero de la matriz de resina se convierten en una estructura de red reticulada tridimensional, produciéndose un empaquetamiento de las moléculas que las lleva a estar más cerca unas con otras, dándose así la contracción volumétrica. Esta contracción es típicamente del orden de 1.5–5%, y puede causar tensiones de contracción tanto en el material polimérico como en la interfase diente/restauración<sup>2</sup>. La contracción por polimerización inherente del material y el subsecuente stress por contracción, que se presenta una vez el material se ha adherido a la superficie dental<sup>3</sup>, podrían causar la formación de brechas en la interfase diente/restauración, explicando de esta manera la formación de lesiones de caries secundaria, la cual junto a la fractura son de las causas más comunes de falla en éstas restauraciones<sup>4,5</sup>. algunas referencias reportan una longevidad de las restauraciones posteriores de resina compuesta de aproximadamente de 6 años<sup>6,7</sup>.

Para disminuir los efectos indeseables de la contracción por polimerización se implementa la técnica de obturación incremen-

tal<sup>8,9</sup>, la cual permite el manejo de incrementos de 2mm<sup>10</sup> con la finalidad de controlar el stress por contracción, reduciendo la deflexión cuspidéa y el factor C de la cavidad, tanto en restauraciones directas de composite como en bulkfill<sup>2</sup>, sin embargo, requiere de mayor tiempo operatorio<sup>11</sup> y precaución para evitar la formación de burbujas de aire entre incrementos<sup>12</sup>. Algunas referencias de relevancia científica (meta analisis)<sup>3, 13, 14, 15</sup> establecen que la efectividad clínica de las resinas para técnica bulkfill es

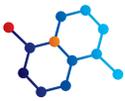
	Modulo elasticidad Gpa	Dureza KHN	Resistencia flexural Mpa
Resina nanohibrida	5.76 (+/-1.49)	53 a 70.8	119.43 (+/-18.68)
Resina Bulkfill	3.3 a 9.4	72 a 76	135-163
Esmalte	9 a 90	343	70
Dentina	1.6537 +/- 0.2779	66	154 a 231

Tabla1: Propiedades físico-mecánicas de tejidos dentales y materiales poliméricos<sup>35, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49</sup>

similar a las resinas convencionales, independientemente de la ubicación de la restauración, el tipo de dentición, el tipo de lesión o la técnica empleada (incremental, bulkfill o bulk de dos pasos).

Por su naturaleza, los materiales poliméricos requieren de un seguimiento minucioso de protocolos de manejo, el no hacerlo puede llevar a una fotopolimerización deficiente, afectando propiedades físico-mecánicas que repercuten en la estabilidad del color, presencia defectos marginales, disminución de la resistencia al desgaste y reducida resistencia adhesiva<sup>16, 17</sup>, así como alteraciones en la biocompatibilidad debido a la liberación de monómeros sin reaccionar al medio oral.<sup>18,19,20</sup>

Entre las causas de una fotopolimerización deficiente se tienen la distancia excesiva entre la unidad de fotopolimerización y el material, las características de la unidad de fotopolimerización como su diseño externo (angulación de la punta) que debe permitir alcanzar las zonas posteriores tan cerca como sea posible al paralelismo de las caras oclusales del diente a ser restaurado<sup>16,21</sup>. El difícil acceso y poca apertura oral, pueden dificultar el manejo de instrumental y material en el sector posterior, dado que la forma en que se coloca la punta de la unidad de fotopolimerización, específicamente la angulación y la distancia de la misma a la superficie del material pueden reducir la cantidad de energía incidente sobre el material afectando el grado de conversión de las resinas compuestas<sup>22</sup> y por ende en sus propiedades mecánicas.<sup>1, 23</sup>



André, Sebold, Giannini y Price<sup>21</sup>, probaron la capacidad de acceso al sector posterior (2º molar inferior) de 6 unidades de fotopolimerización, de las cuales solamente 2 lograron posicionarse de forma paralela a la superficie oclusal debido a la inclinación, la cual al ser excesiva puede disminuir la exposición radiante recibida por la resina, aun con lámparas de alta irradiancia<sup>23</sup>, por ello es importante que el clínico controle y no pierda de vista la punta de la unidad mientras fotopolimeriza. Posicionamientos incorrectos podrán producir variaciones en la intensidad de luz recibida, afectando el grado de conversión de las resinas en las capas más profundas<sup>24, 25, 26</sup>, afectando propiedades como la estabilidad del color y microdureza de la resina composita<sup>12</sup>. Tanto el posicionamiento de la fibra de vidrio de la lámpara como el tiempo de curado influyen en el grado de conversión del material afectando de esta manera el número de fotones incidentes sobre el material al presentar polimerización inadecuada del material.<sup>16, 27</sup>

## PRUEBAS DE EFICIENCIA DE FOTOPOLIMERIZACIÓN Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### Grado de conversión

El grado de conversión representa el porcentaje de enlaces dobles de carbono (C=C) convertidos en enlaces simples (C-C), es decir la cantidad de monómeros que participan en la formación de las cadenas poliméricas dentro del material.<sup>10, 12</sup> El grado de conversión determina en buena medida las propiedades físico-mecánicas del material, y es crucial en la determinación del comportamiento, degradación, biocompatibilidad, resistencia, módulo de elasticidad, dureza y solubilidad de los polímeros<sup>11</sup>; es totalmente dependiente de la eficiencia de fotopolimerización, es decir que siempre y cuando la cantidad de luz recibida por el material sea la suficiente, mayor cantidad de enlaces dobles de carbono se romperán, permitiendo la inclusión mayor cantidad de monómeros a las cadenas poliméricas.

Para medir o analizar la eficiencia de la fotopolimerización de las resinas compositas existen pruebas físico/químicas realizadas por métodos directos e indirectos.<sup>28</sup> Los métodos directos como la espectroscopía de transmisión infrarroja de Fourier (FTIR siglas en inglés) y la espectroscopía RAMAN<sup>29, 30, 31, 32</sup>, se encargan específicamente de medir el grado de conversión del material, calculando la cantidad o proporción de enlaces dobles que no se rompieron durante el proceso de fotopolimerización (monómeros que no polimerizaron) comparando dicha lectura con el material sin fotopolimerizar<sup>33</sup>, la diferencia representa el número de enlaces carbono-carbono que no participaron en las cadenas poliméricas<sup>26</sup> representándolo en porcentaje. Algunos autores sugieren que un valor superior al 50% representa un rango suficiente de grado de conversión<sup>34</sup>, es decir que porcentajes mayores representan mejores propiedades físico-mecánicas para el material restaurador.

### Dureza

La dureza es la resistencia superficial que pone un sólido a ser rayado y penetrado<sup>35</sup>, se relaciona con la fotopolimerización del material, y es una propiedad particularmente importante en la resistencia a fuerzas tangenciales de stress o de cizallamiento (Fig 2c) relacionadas al pulido de la superficie. Mejores valores

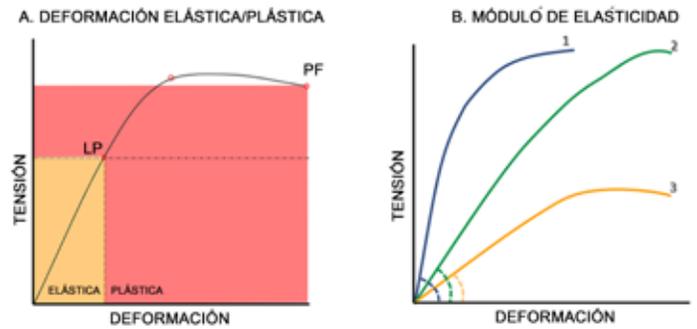


FIGURA 1. A. Curva tensión/deformación. Representa el proceso de deformación elástica (reversible) y deformación plástica (irreversible) de un material o cuerpo. LP Límite proporcional, punto hasta donde el cuerpo empieza deformarse plásticamente. PF Punto de falla, donde el material se fractura. B. Representación gráfica de tres materiales con módulo de elasticidad diferente, donde el material 1 es mucho más rígido que el material 3. (Ilustraciones por autor).

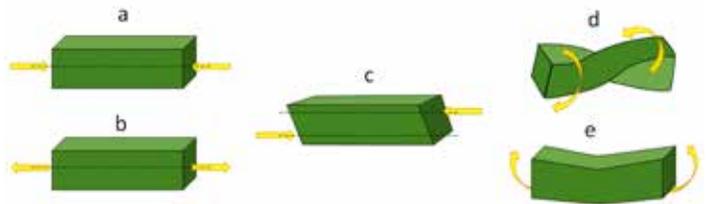
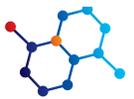


FIGURA 2. Tipos de fuerzas opuestas y tipos de fuerzas de stress. A Compresión, b Tensión, c Corte o Cizallamiento, d Torción, e Flexión. (Ilustraciones por autor).

de fotopolimerización representarán mayores valores de dureza.

Entre las pruebas implementadas para obtener ésta propiedad, considerados como métodos indirectos para medir la eficiencia de fotopolimerización del material<sup>28</sup>, se tienen dos: el radio de microdureza desde el fondo hasta la superficie de la muestra; y el “Scrapping method” o método de raspado según norma ISO 4049. El radio de microdureza se obtiene mediante un durómetro cuyo indentador produce una marca en la superficie del material, la medición de los bordes de dicha marca es representada por medio de valores de acuerdo al tipo de indentador específico para cada material, los durómetros que se implementan para medir tejidos duros son el durómetro Knoop, cuya medida es expresada en KHN (Knoop hard number) y el Vickers VHN (Vickers hard number). Por su parte el “Scrapping method” consiste en la confección de un cilindro de resina, al cual, una vez ha sido fotopolimerizado, se le remueve manualmente la porción aún reblandecida no polimerizada del material con una espátula plástica<sup>36</sup>, el remanente de material endurecido es medido y dividido entre dos<sup>37</sup>, representándolo como un valor porcentual de acuerdo al tamaño del cilindro.

El valor de microdureza obtenido por un material restaurador, es comparado con el valor de microdureza de los tejidos dentales, con la finalidad de determinar qué tan parecido a los mismos



se comportará el material, siendo deseable que se asemejen lo más posible (Tabla 1). El “Scarapping method” determina la profundidad de curado del material, siendo considerado un valor del 80% de dureza del fondo hacia arriba, como el límite para el suficiente polimerizado<sup>16,32,38</sup>, valores menores determinarán una inadecuada profundidad de fotopolimerización, debido a la atenuación de la luz emitida cuando esta atraviesa el material<sup>39</sup>, lo cual es particularmente útil en el caso de la implementación de resinas para técnica bulkfill, donde se establece que pueden manejarse incrementos de hasta 4 a 5 mm de espesor<sup>3, 13, 40</sup>.

### Módulo de elasticidad y Resistencia a la flexión

Las restauraciones colocadas en el sector posterior se ven influenciadas por fuerzas compresivas y tensionales de distintas magnitudes, de cuyos efectos se hablará más adelante. Para entender ambos conceptos, se debe tomar en cuenta el trazado tensión/deformación, en el cual se representa de forma gráfica el comportamiento de un material al incidir sobre él una fuerza tensional, donde después de resistir sin perder sus propiedades, se presenta una deformación elástica (reversible); conforme la tensión es mantenida sobre el material, continua deformándose plásticamente (Irreversible) hasta llegar al punto de falla o quiebre, donde el material cede completamente ante la tensión<sup>50</sup> (Fig1A). Dentro del proceso dinámico descrito anteriormente, pueden medirse dos propiedades sumamente importantes de los materiales: la primera es el módulo de elasticidad, que representa la rigidez del material (o un cuerpo), y podría representarse como la velocidad en que un material empieza a deformarse elásticamente ante una determinada carga; Una forma rápida y sencilla de interpretar el módulo de elasticidad en la gráfica tensión/deformación sería: mientras más vertical ó cercana al eje “Y” sea la curva, el material es más rígido; por otro lado, mientras más horizontal o cercana a eje “X” sea la curva menos rígido será el material (Fig 1B).

La otra propiedad analizable en el proceso tensión/deformación es la resistencia a la flexión (resistencia flexural) que es el punto en el cual el material cede completamente ante las fuerzas de tracción, compresión y cizallamiento<sup>51</sup> durante el proceso de masticación funcional, es decir el punto previo antes de fracturarse (PF Fig1A).

El módulo de elasticidad de los materiales restauradores, resulta particularmente importante de entender pues representaría la deformación reversible que el material tendría durante la función masticatoria dentro de una preparación cavitaria, es decir dentro del diente; siendo esperado que sean iguales o similares entre sí, para que ambos compartan las mismas características de deformación en la dinámica deformación/normalidad, manteniendo así la integridad diente/restauración. Se expresa en Gigapascales (Gpa) y se compara con los valores de la estructura dental.(Tabla 1)

Por su parte la prueba de resistencia a la flexión, según norma ISO 4049, consiste en la confección de una barra de material restaurador de 25x2x2mm, a la cual se le aplican 3 o 4 puntos de presión en una maquina universal de prueba (generalmente Instron) hasta fracturarse.<sup>52</sup> Los valores obtenidos son expresados generalmente en Megapascales (Mpa), y determinan la carga que el material es capaz de resistir antes de dañarse irreversiblemente. Los valores de resistencia a la flexión de un

material deberían ser lo mas parecido a los que tienen los tejidos dentales (Tabla 1), se esperaría que fuese superior para el caso de materiales destinados a la confección de subestructuras protésicas.

### Tipos de fuerzas incidentes

El estudio de las propiedades mecánicas de los materiales requiere el entendimiento de los tipos de fuerzas que pueden incidir sobre los mismos, las cuales pueden ser fuerzas únicas (que recorren un solo sentido), o fuerzas opuestas<sup>55</sup>, que son las que más pertinencia tienen para el tema de las propiedades físicomecánicas, y se relacionan con la tercera ley de Newton (Principio de acción-reacción).

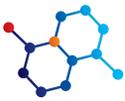
Entre los tipos de fuerzas opuestas, se tienen de tipo Compresivas, Traccionales y de cizallamiento o corte. Las fuerzas compresivas inciden hacia el cuerpo desde direcciones opuestas, encontrándose ambas en superficies equidistantes siguiendo un mismo eje (Fig2a), las fuerzas traccionales inciden desde superficies opuestas del cuerpo hacia direcciones opuestas siguiendo un mismo eje, estirándolo (Fig2b), mientras que las de cizallamiento o corte inciden hacia el cuerpo pero en puntos diferentes, permitiendo el desplazamiento de secciones del cuerpo que desencadenan su rompimiento o deformación (Fig2c).

Toda fuerza incidente sobre un cuerpo va a producir su desplazamiento, su deformación o bien su ruptura, esto va a depender de las características intrínsecas del cuerpo, el punto de aplicación, la intensidad y el tipo de dicha fuerza. Dependiendo de las propiedades del material restaurador, éste va a resistir más o menos las fuerzas incidentes sobre él, lo cual se denomina Stress<sup>50</sup>, y es proporcional a la fuerza aplicada sobre el mismo. Las fuerzas de stress pueden recorrer un eje a través del cuerpo, ya sea hacia o desde el mismo (Compresión y tensión), denominadas fuerzas de stress axiales (Fig 2a y 2b), o bien pueden dirigirse hacia el cuerpo en diferentes puntos, (fuerzas de stress de corte) flexión y torción. (Fig2d y 2e).

Lo anteriormente explicado podría parecer simple, sin embargo su comprensión es de vital importancia para entender el comportamiento de los materiales dentales al ser incididos por las fuerzas funcionales durante su servicio dentro de una preparación cavitaria.

## CONCLUSIONES

La popularidad de las resinas compositas como material universal restaurador<sup>1</sup> por parte del clínico, ha llevado en varias ocasiones al manejo inadecuado del material, debido al desconocimiento de las propiedades físicomecánicas del material, ésto lleva a implementarlas en situaciones clínicas más allá de sus posibilidades funcionales. Una inadecuada fotopolimerización puede influir en las propiedades físicomecánicas del material restaurador, por lo que elección de lámparas de fotopolimerización inadecuadas, su mala colocación o manejo, o que no aporten la necesaria profundidad de curado pueden afectar el desempeño clínico del material.<sup>53</sup>

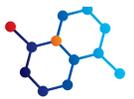


La elección de un material restaurador debe ser dependiente de sus indicaciones funcionales, las cuales corresponden a sus propiedades físico-mecánicas, éstas muchas veces no son mencionadas por el fabricante; corresponde al clínico informarse y obtener la información que necesita para seleccionar el material adecuado, interpretando y aplicando a la realidad de su caso clínico las pruebas físicas que presentan dichas propiedades del material.

Para considerar que un material polimérico posee un adecuado grado de conversión<sup>22</sup>, los valores de éste deben ser superiores al 50% para ser considerado eficiente<sup>34</sup>; para el caso de la dureza, va a depender del tipo de prueba que se este valorando: si es la prueba de microdureza, el valor obtenido por un material restaurador, debería ser lo más parecido a los tejidos dentales, si la prueba a valorar está determinando la profundidad de curado ("Scarapping method"<sup>36</sup>) o porcentaje de dureza del fondo hacia arriba, el valor deseado debe ser igual o superior del 80% para ser considerado como un buen valor.

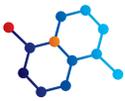
Para la propiedad de resistencia a la flexión, al igual que el caso de la microdureza, es deseable que los valores de un material restaurador polimérico sean lo más parecido a la estructura dental.

El entendimiento de las propiedades físico-mecánicas de un material restaurador, al igual que el de las pruebas de laboratorio que son implementadas para medirlas y son presentadas en la evidencia científica, es una de las competencias que deben ser desarrolladas en los estudiantes de Odontología además de la destreza motriz, sirva el presente artículo como una pequeña colaboración en la consecución de dicho objetivo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Shimokawa C, Turbino ML, Giannini M, Braga RR, Price RB. Effect of curing light and exposure time on the polymerization of bulk-fill resin-based composites in molar teeth. *Oper Dent* [Internet]. 2020;45(3):E141–55. DOI: <http://dx.doi.org/10.2341/19-126-L>
2. Van Ende A, De Munck J, Lise DP, Van Meerbeek B. Bulk-fill composites: A review of the current literature. *J Adhes Dent* [Internet]. 2017;19(2):95–109. DOI: <http://dx.doi.org/10.3290/j.jad.a38141>
3. Veloso SRM, Lemos CAA, de Moraes SLD, do Egito Vasconcelos BC, Pellizzer EP, de Melo Monteiro GQ. Clinical performance of bulk-fill and conventional resin composite restorations in posterior teeth: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig* [Internet]. 2019;23(1):221–33. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00784-018-2429-7>
4. Rasines Alcaraz MG, Veitz-Keenan A, Sahrman P, Schmidlin PR, Davis D, Iheozor-Ejirofor Z. Direct composite resin fillings versus amalgam fillings for permanent or adult posterior teeth. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2014;(3):CD005620. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD005620.pub2>
5. Ástvaldsdóttir Á, Dagerhamn J, van Dijken JWV, Naimi-Akbar A, Sandborgh-Englund G, Tranæus S, et al. Longevity of posterior resin composite restorations in adults – A systematic review. *J Dent* [Internet]. 2015;43(8):934–54. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2015.05.001>
6. Kopperud SE, Tveit AB, Gaarden T, Sandvik L, Espelid I. Longevity of posterior dental restorations and reasons for failure. *Eur J Oral Sci* [Internet]. 2012;120(6):539–48. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/eos.12004>
7. Rho Y-J, Namgung C, Jin B-H, Lim B-S, Cho B-H. Longevity of direct restorations in stress-bearing posterior cavities: a retrospective study. *Oper Dent* [Internet]. 2013;38(6):572–82. DOI: <http://dx.doi.org/10.2341/12-432-C>
8. Joy A, Qureshi A. Mercury in dental amalgam, online retail, and the Minamata Convention on mercury. *Environ Sci Technol* [Internet]. 2020;54(22):14139–42. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c01248>
9. Versluis A, Tantbirojn D, Pintado MR, DeLong R, Douglas WH. Residual shrinkage stress distributions in molars after composite restoration. *Dent Mater* [Internet]. 2004;20(6):554–64. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2003.05.007>
10. AlShaafi MM. Factors affecting polymerization of resin-based composites: A literature review. *Saudi Dent J* [Internet]. 2017;29(2):48–58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.01.002>
11. Pirmoradian M, Hooshmand T, Jafari-Semnani S, Fadavi F. Degree of conversion and microhardness of bulk-fill dental composites polymerized by LED and QTH light curing units. *J Oral Biosci* [Internet]. 2020;62(1):107–13. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2019.12.004>
12. Strazzy-Sahyon HB, Rocha EP, Assunção WG, Dos Santos PH. Influence of light-curing intensity on color stability and microhardness of composite resins. *Int J Periodontics Restorative Dent* [Internet]. 2020;40(1):129–34. DOI: <http://dx.doi.org/10.11607/prd.4437>
13. Arbildo-Vega HI, Lapinska B, Panda S, Lamas-Lara C, Khan AS, Lukomska-Szymanska M. Clinical effectiveness of bulk-fill and conventional resin composite restorations: Systematic review and meta-analysis. *Polymers (Basel)* [Internet]. 2020;12(8):1786. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/polym12081786>
14. Kruly P de C, Giannini M, Pascotto RC, Tokubo LM, Suga USG, Marques A de CR, et al. Meta-analysis of the clinical behavior of posterior direct resin restorations: Low polymerization shrinkage resin in comparison to methacrylate composite resin. *PLoS One* [Internet]. 2018;13(2):e0191942. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0191942>
15. Cidreira Boaro LC, Pereira Lopes D, de Souza ASC, Lie Nakano E, Ayala Perez MD, Pfeifer CS, et al. Clinical performance and chemical-physical properties of bulk fill composites resin -a systematic review and meta-analysis. *Dent Mater* [Internet]. 2019;35(10):e249–64. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2019.07.007>
16. Romano BdC, Soto-Montero J, Rueggeberg FA, Giannini M. Effects of extending duration of exposure to curing light and different measurement methods on depth-of-cure analyses of conventional and bulk-fill composites. *Eur J Oral Sci* [Internet]. 2020;128(4):336–44. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/eos.12703>
17. Albuquerque PPAC, Moreira ADL, Moraes RR, Cavalcante LM, Schneider LFJ. Color stability, conversion, water sorption and solubility of dental composites formulated with different photoinitiator systems. *J Dent* [Internet]. 2013;41 Suppl 3:e67-72. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2012.11.020>
18. Cokic SM, Duca RC, De Munck J, Hoet P, Van Meerbeek B, Smet M, et al. Saturation reduces in-vitro leakage of monomers from composites. *Dent Mater* [Internet]. 2018;34(4):579–86. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2018.01.005>
19. Felix CA & Price RB. The effect of distance from light source on light intensity from curing lights *Journal of Adhesive Dentistry*, 2003, 5(4) 283-291.
20. Durner J, Obermaier J, Draenert M, Ilie N. Correlation of the degree of conversion with the amount of elutable substances in nano-hybrid dental composites. *Dent Mater* [Internet]. 2012;28(11):1146–53. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2012.08.006>
21. André CB, Nima G, Sebold M, Giannini M, Price RB. Stability of the light output, oral cavity tip accessibility in posterior region and emission spectrum of light-curing units. *Oper Dent* [Internet]. 2018;43(4):398–407. DOI: <http://dx.doi.org/10.2341/17-033-L>
22. Tongtaksin A, Leevailoj C. Battery charge affects the stability of light intensity from light-emitting diode light-curing units. *Oper Dent* [Internet]. 2017;42(5):497–504. DOI: <http://dx.doi.org/10.2341/15-294-L>
23. Konerding KL, Heyder M, Kranz S, Guellmar A, Voelpel A, Watts DC, et al. Study of energy transfer by different light curing units into a class III restoration as a function of tilt angle and distance, using a MARC Patient Simulator (PS). *Dent Mater* [Internet]. 2016;32(5):676–86. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.02.007>
24. Musanje L, Ferracane JL, Sakaguchi RL. Determination of the optimal photoinitiator concentration in dental composites based on essential material properties. *Dent Mater* [Internet]. 2009;25(8):994–1000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2009.02.010>
25. Alkhudhairy F. Wear resistance of bulkfill composite resin restorative materials polymerized under different curing intensities. *J Contemp Dent Pract*. 2017;18:39–43. [Citado el 20 de Octubre de 2022] Disponible en: <https://www.thejcdp.com/doi/pdf/10.5005/jp-journals-10024-1985>
26. Rueggeberg FA, Giannini M, Arrais CAG, Price RBT. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Braz Oral Res* [Internet]. 2017;31(suppl 1):e61. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0061>
27. Price RBT, Felix CA, Andreou P. Effects of resin composite composition and irradiation distance on the performance of curing lights. *Biomaterials* [Internet]. 2004;25(18):4465–77. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biomaterials.2003.11.032>
28. Ajaj R, Farsi N, Alzain L, Nuwaylati N, Ghurab R, Nassar H. Dental bulk-fill resin composites polymerization efficiency: A systematic



review and meta-analysis. *J Compos Sci* [Internet]. 2021;5(6):149. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/jcs5060149>

29. Jang J-H, Park S-H, Hwang I-N. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill resin composites and highly filled flowable resin. *Oper Dent* [Internet]. 2015;40(2):172–80. DOI: <http://dx.doi.org/10.2341/13-307-L>

30. Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dent Mater* [Internet]. 2014;30(2):149–54. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2013.10.011>

31. Benetti AR, Havndrup-Pedersen C, Honoré D, Pedersen MK, Pallesen U. Bulk-fill resin composites: polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. *Oper Dent* [Internet]. 2015;40(2):190–200. DOI: <http://dx.doi.org/10.2341/13-324-L>

32. Reis AF, Vestphal M, Amaral RC do, Rodrigues JA, Roulet J-F, Roscoe MG. Efficiency of polymerization of bulk-fill composite resins: a systematic review. *Braz Oral Res* [Internet]. 2017;31(suppl 1):e59. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0059>

33. Ilie N, Keßler A, Durner J. Influence of various irradiation processes on the mechanical properties and polymerisation kinetics of bulk-fill resin based composites. *J Dent* [Internet]. 2013;41(8):695–702. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2013.05.008>

34. Eshmawi YT, Al-Zain AO, Eckert GJ, Platt JA. Variation in composite degree of conversion and microflexural strength for different curing lights and surface locations. *J Am Dent Assoc* [Internet]. 2018;149(10):893–902. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.adaj.2018.06.004>

35. Steenbecker O. Principios y bases de los biomateriales en operatoria dental estética adhesiva. Editorial Universidad de Valparaíso. 2006

36. International standard ISO 4049, Dentistry- Polymer based restorative materials. Ref ISO 4049:2019(E)

37. Makhdoom SN, Campbell KM, Carvalho RM, Manso AP. Effects of curing modes on depth of cure and microtensile bond strength of bulk fill composites to dentin. *J Appl Oral Sci* [Internet]. 2020;28:e20190753. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-7757-2019-0753>

38. El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Oper Dent* [Internet]. 2014;39(4):374–82. DOI: <http://dx.doi.org/10.2341/13-017-L>

39. Pacheco RR, Carvalho AO, André CB, Ayres APA, de Sá RBC, Dias TM, et al. Effect of indirect restorative material and thickness on light transmission at different wavelengths. *J Prosthodont Res* [Internet]. 2019;63(2):232–8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpor.2018.12.004>

40. Zhou X, Huang X, Li M, Peng X, Wang S, Zhou X, et al. Development and status of resin composite as dental restorative materials: Development and status of resin composite as dental restorative materials. *J Appl Polym Sci* [Internet]. 2019;136(44):48180. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/app.48180>

41. Rodrigues Junior SA, Zanchi CH, Carvalho RV de, Demarco FF. Flexural strength and modulus of elasticity of different types of resin-based composites. *Braz Oral Res* [Internet]. 2007;21(1):16–21. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-83242007000100003>

42. Didem A, Gözde Y, Nurhan Ö. Comparative mechanical properties of bulk-fill resins. *Open J Compos Mater* [Internet]. 2014;04(02):117–21. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4236/ojcm.2014.42013>

43. Chun K, Choi H, Lee J. Comparison of mechanical property and role between enamel and dentin in the human teeth. *J Dent Biomech* [Internet]. 2014;5(0):1758736014520809. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/1758736014520809>

44. Nina Djustiana, Nadia Greviana, Yanwar Faza, and Sunarso, “Synthesis and characterization of dental composites”, AIP Conference Proceedings 1927, 020003 (2018) <https://doi.org/10.1063/1.5021191>

45. Elkaffas AA, Eltoukhy RI, Elnegoly SA, Mahmoud SH. The effect of preheating resin composites on surface hardness: a systematic review and meta-analysis. *Restor Dent Endod* [Internet]. 2019;44(4):e41. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5395/rde.2019.44.e41>

46. Machnick TK, Torabinejad M, Munoz CA, Shabahang S. Effect of MTAD on flexural strength and modulus of elasticity of dentin. *J Endod* [Internet]. 2003;29(11):747–50. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/00004770-200311000-00015>

47. Zhao H, Liu S, Wei Y, Yue Y, Gao M, Li Y, et al. Multiscale engineered artificial tooth enamel. *Science* [Internet]. 2022;375(6580):551–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1126/science.abj3343>

48. de Mendonça BC, Soto-Montero JR, de Castro EF, Pecorari VGA, Rueggeberg FA, Giannini M. Flexural strength and microhardness of bulk-fill restorative materials. *J Esthet Restor Dent* [Internet]. 2021;33(4):628–35. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/jerd.12727>

49. Leprince JG, Palin WM, Vanacker J, Sabbagh J, Devaux J, Leloup G. Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *J Dent* [Internet]. 2014;42(8):993–1000. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2014.05.009>

50. Sakagushi R. Powers J. Craig’s Restorative dental materials. 13th Ed. Elsevier Mosby. 2012

51. Monteza Iñiguez SK, García PL, Rodríguez MXC, de la Nube Castillo Guarnizo Z, López CD. Resistencia Flexural de una Resina Compuesta Nanohíbrida Sometida a Técnicas de Termopolimerización Adicional. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional* [Internet]. 2021 ;6(11):1668–81. [citado el 10 de agosto de 2022] DOI: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=821934547>

52. Gomes de Araújo-Neto V, Sebold M, Fernandes de Castro E, Feitosa VP, Giannini M. Evaluation of physico-mechanical properties and filler particles characterization of conventional, bulk-fill, and bioactive resin-based composites. *J Mech Behav Biomed Mater* [Internet]. 2021;115(104288):104288. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104288>

53. Tsuzuki F-M, de Castro-Hoshino L-V, Lopes L-C-P, Sato F, Baesso M-L, Terada R-S-S. Evaluation of the influence of light-curing units on the degree of conversion in depth of a bulk-fill resin. *J Clin Exp Dent* [Internet]. 2020;12(12):e1117–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.4317/jced.57288>