



ARTICULO DE REVISIÓN

COMPOSICIÓN DE RESINAS COMPUESTAS DE USO DIRECTO EN OPERATORIA DENTAL EN EL SIGLO XXI. COMPOSITE RESINS FOR DIRECT USE IN OPERATIVE DENTISTRY, IT'S COMPOSITION IN THE XXI CENTURY

Roque, J.¹

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: 23 octubre 2022
Aceptado: 29 noviembre 2022

RESUMEN

El presente trabajo pretende aportar a la comprensión del comportamiento de las resinas compuestas durante su funcionamiento, a partir del conocimiento de su composición actual y la forma como interactúan sus componentes. Las resinas están compuestas por tres fases: una matriz orgánica, que contiene los monómeros funcionales, fotoactivadores, aceleradores, etc; una fase inorgánica o de relleno cuya función principal es proveer de las propiedades físico mecánicas necesarias para resistir las fuerzas masticatorias, o bien determinar algunos elementos de manejo o pulido de la misma, y finalmente de una interfase cuya función es mantener unidas y en sinergia a la matriz orgánica y a la fase inorgánica del material. La clasificación más universalmente conocida se basa en la proporción y tamaño de los rellenos inorgánicos. La búsqueda del “material restaurador ideal” ha llevado a la modificación de los componentes básicos de las resinas, desde su matriz orgánica para obtener menor contracción volumétrica, manejo de incrementos más grandes entre otras ventajas, modificando la proporción y tipo de partículas de relleno para conferir características de resistencia, fotoactivadores específicos, etc. sin embargo debe considerarse siempre la finalidad para la cual se pretende usar un material restaurador específico, ya sea por necesidades estéticas o funcionales, ya que esto dependerá del tipo, disposición e interacción de sus elementos constituyentes (su composición) y definitivamente el sentido común por parte del operador.

Palabras Clave: Resinas compuestas, fase inorgánica, monómeros, Operatoria dental, rellenos inorgánicos.



ARTICULO DE REVISIÓN

COMPOSICIÓN DE RESINAS COMPUESTAS DE USO DIRECTO EN OPERATORIA DENTAL EN EL SIGLO XXI. COMPOSITE RESINS FOR DIRECT USE IN OPERATIVE DENTISTRY, IT'S COMPOSITION IN THE XXI CENTURY

Roque, J.¹

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: 23 octubre 2022
Aceptado: 29 noviembre 2022

ABSTRACT

This work aims to contribute the understanding of the behavior of composite resins during their function, based on the knowledge of their current composition and the way in which their components interact. Composites are formed by three phases: an organic matrix, which contains the functional monomers, photoactivators, accelerators, etc., an inorganic phase or fillers whose main function is to provide the necessary physical-mechanical properties to resist masticatory forces, or to determine some elements of handling or polishing, and finally an interphase whose function is to keep the organic matrix and the inorganic phase together and in synergy in the material. The most universally known classification is based on the proportion and size of the inorganic fillers. The search for the "ideal restorative material" has led to the modification of the basic components of the resins, from their organic matrix to obtain less volumetric contraction, handling of larger increments, among other advantages, modifying the proportion and type of filler particles to confer resistance characteristics, specific photoactivators, etc however, the purpose for which a specific restorative material is intended to be used should always be considered, whether for aesthetic or functional needs, since this will depend on the type, arrangement and interaction of its constituent elements (its composition) and definitely common sense by operator.

Key Words: Composite resin, Inorgánico phase, monomers, dental operator, inorganic fillers.



INTRODUCCIÓN

Las resinas compuestas, son en la actualidad unos de los materiales más populares para tratar las manifestaciones de la enfermedad caries dental, debido a sus propiedades estéticas y conservadoras que permiten preservar los tejidos dentales naturales gracias a sus propiedades adhesivas al tejido dental¹. Existen referencias reportando que casi 200 millones de restauraciones dentales de resina compuesta son colocadas anualmente en los Estados Unidos². El desconocimiento de su composición y conformación, puede llevar a un mal manejo, lo cual puede repercutir en el desempeño del material, afectando sus propiedades físico-mecánicas, llevando al fallo catastrófico de las restauraciones.

La clasificación de las resinas compuestas en la actualidad puede resultar un tanto confusa para algunos clínicos teniendo en cuenta la heterogeneidad que existe entre las muchas clasificaciones disponibles, por ello el conocer los elementos que componen el material, permite entender la fundamentación en la que las clasificaciones se basan para categorizar a los diferentes tipos de resinas compuestas, así como la manera en que éstos elementos constituyentes influyen en su mecanismo de fotoactivación³, y en su desempeño clínico y propiedades físico-mecánicas, estéticas, etc.

RESINAS COMPOSITAS

Las resinas compuestas modernas, surgieron a principios de los sesentas gracias al gran aporte de Ralph Bowen, quien sintetizó el monómero funcional bisfenol-A diglicidil metacrilato bis GMA⁴, desde entonces el material ha sufrido algunos cambios en su composición con la finalidad de hacerlas más estables y predecibles. La inclusión de monómeros coadyuvantes en el proceso de polimerización, la modificación de los rellenos inorgánicos y la implementación de fotoiniciadores diversos para facilitar su proceso de fotopolimerización, son elementos que se han incorporado con la finalidad de facilitar su uso y mejorar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas⁵. El tono y grado de translucidez de las resinas, el tipo de fotoiniciador, la densidad de potencia y longitud de onda de la luz polimerizante, el posicionamiento de la fibra de vidrio de la lámpara y el tiempo de curado influyen en el grado de conversión del material³.

Las resinas compuestas representan en la actualidad el material de elección para restaurar la integridad estructural, forma y estética tanto de dientes anteriores como posteriores⁷, permitiendo ser más conservadores dada su capacidad de adherirse químicamente al tejido dental sin la necesidad de elementos retentivos adicionales que representen la remoción de tejido dental sano⁸.

El material está conformado principalmente por tres componentes o fases: la matriz orgánica, que es una combinación de monómeros (20 a 30% en peso), los rellenos inorgánicos (fase inorgánica), presentes entre un 70 a 80% en peso⁹ y un agente de acoplamiento o de enlace que favorece la interacción entre la fase orgánica y la inorgánica¹⁰.

FASE ORGÁNICA

La matriz orgánica está compuesta principalmente por una combinación de dimetacrilatos como el bisfenol-A glicidil dimetacrilato (BisGMA), dimetacrilato de uretano (UDMA), tri-etilen glicol dimetacrilato (TEGDMA)¹¹, Hidroxietil metacrilato (HEMA)² y Bisfenol A glicol dimetacrilato (Bis EMA)¹² (Tabla 1).

La implementación de éstas resinas como material restaurador requiere que durante su manipulación sufra una transformación de una consistencia parecida a una pasta, a una consistencia rígida; dicho proceso se logra mediante la estimulación de los fotoactivadores que están contenidos en la matriz orgánica del material^{3, 7}, al ser irradiados con luz dentro del espectro de 410 a 500 Nm (luz azul), dando inicio al proceso de polimerización. El fotoactivador más comúnmente empleado es la canforoquinona (CQ)¹² la cual es activada por un espectro de longitud de onda específico de 468-470 Nm¹³. Algunos materiales poliméricos implementan fotoiniciadores alternativos como la Fenil propanodiona (PPD), difenil (2,4,6-trimetibenzoil) óxido fosfina (TPO), y algunos iniciadores basados en germanio (ivocerin), sin embargo las longitudes de onda para su activación están por debajo de los 425 Nm, necesitando unidades de fotopolimerización cuyos rangos de emisión de luz se encuentren en dichos márgenes de longitud de onda. Existen referencias que reportan que al combinar fotoiniciadores como la CQ y PPD en partes iguales, se presentan mejoras en la penetración de curado y grado de conversión¹⁴.

En algunos casos, se implementan aminas terciarias como co-iniciadores o aceleradores del proceso de fotopolimerización en combinación con algunos fotoiniciadores, tal es el caso de la N-Dimetilpara-toluidina (DMPT), sin embargo es bien sabido sobre su toxicidad¹⁵, por su parte 2-(N,N dimetil amino) etil metacrilato (DMAEMA) presenta buenos valores de compatibilidad al poseer grupos metacrilatos que se polimerizan junto a los monómeros, disminuyendo así su toxicidad. Entre otros componentes dentro de la fase orgánica se tienen inhibidores de fotopolimerización (3,5-di-tert-butil-4-hidroxitolueno), estabilizadores (2-hidroxi-4-metoxibenzofenone) y diluyentes⁷.

FASE INORGÁNICA

La fase inorgánica comprende partículas de relleno que están conformadas principalmente por sílice y cuarzo, en tamaños que van desde nanómetros a cientos de micrómetros⁷ y tienen como función principal proporcionar las propiedades físico-mecánicas al material, tales como dureza, resistencia flexural, resistencia al desgaste, radiopacidad y algunas características ópticas¹⁶.

A diferencia de la fase orgánica, y dada su influencia en la determinación de las propiedades físico-mecánicas del material restaurador, la fase inorgánica ha presentado grandes cambios en relación al tipo, tamaño, distribución y forma de los rellenos inorgánicos¹⁷, entre las cuales se tienen partículas esféricas, fibras, porosos, etc, junto a la incorporación de elementos adicionales que han sido introducidos con la finalidad de mejorar las propiedades¹⁸.

Liu¹⁹, clasifica los rellenos inorgánicos de acuerdo a su forma



Tabla 1: Principales Monómeros constituyentes de la fase orgánica de Resinas compuestas¹².

MONOMERO	SIGLAS	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	CONSIDERACIONES
Bisfenol-A glicidil dimetacrilato	BisGMA	Monomero estructural	Monómero más usado en compuestos resinosos, menor contracción, baja volatilidad (menor toxicidad)	Alta viscosidad, absorción de agua
Bisfenol A glicol dimetacrilato etoxisilado	Bis EMA	Diluyente	Baja viscosidad, baja absorción agua, baja contracción por polimerización.	Bajo grado de conversión debido a su baja viscosidad
Dimetacrilato de uretano	UDMA	Monomero estructural	Baja viscosidad, (mayor que TEGDMA Y Bis EMA), Mayor grado de conversión que Bis GMA	Al combinarse con Bis EMA disminuye el grado de conversión
Tri-etilen glicol dimetacrilato	TEGDMA	Diluyente	Baja viscosidad, baja contracción por polimerización, muy efectivo al usarse junto a Bis GMA.	Alta absorción de agua, disminución propiedades mecánicas, baja estabilidad color
Hidroxietil metacrilato	HEMA	Monomero estructural	Importante en procesos de impregnación en dentina.	Altamente hidrofílico

(geométricamente) en rellenos particulados, fibrilares y rellenos de formas nóveles; de acuerdo a sus dimensiones en micro escala y en nano escala (Tabla 2).

INTERFASE

Los rellenos inorgánicos están recubiertos por un agente de acoplamiento que permite una adecuada interacción y fijación con los componentes de la matriz orgánica¹⁹. El agente de acoplamiento o enlace consiste principalmente de silano orgánico 3-metacriloxipropiltrimetoxisilano (MPTS), el cual es el más comúnmente usado debido a la modificación que produce en las partículas de relleno²⁰ y/o 10-metacriloloxidecil dihidrogeno fosfato (10 MDP), cuyos grupos funcionales representan el elemento de unión/adhesión entre los rellenos inorgánicos y la matriz orgánica¹³.

La modificación química que producen los agentes de acoplamiento promueve la formación de enlaces covalentes con los grupos hidroxilos presentes en las partículas de relleno¹², favoreciendo así las relaciones interfaciales entre la matriz orgánica y el relleno, mejorando el desempeño del material restaurador mediante la optimización de las propiedades físico-mecánicas²⁰.

CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS COMPOSITAS

Existen varias clasificaciones que agrupan a las resinas compuestas ya sea según el tamaño y cantidad de sus partículas de relleno, según el mecanismo de polimerización, de acuerdo a sus fines restaurativos y de acuerdo a su aplicación clínica; sin em-

bargo la clasificación que parece tener más difusión y aceptación para las resinas de uso directo en Operatoria Dental es en base a la proporción y tamaño de partículas de relleno, la cual se basa en la presentada originalmente por Lutz y Phillips en 1983²¹; en éste sentido las resinas pueden clasificarse como macrorelleno, microrelleno, híbridas, híbridas modernas y nanohíbridas³ (Tabla 3).

Recientemente se incorporó una clasificación adicional: las resinas modificadas con fibras, que incorporan entre un 5 a 7.5% de fibras cortas, generalmente fibras de vidrio, de polivinil acetato, polietileno, etc. Estas fibras se agregan a los rellenos inorgánicos del material, aumentando con ello sus propiedades físico-mecánicas y reduciendo la contracción por polimerización²⁵.

RESINAS ACTUALES

El desarrollo de la nanotecnología en el diseño de biomateriales para Odontología restauradora, ha permitido la creación e implementación de las resinas nanohíbridas, las cuales son de las más utilizadas en la Operatoria Dental moderna, debido a sus buenas propiedades estéticas y físico-mecánicas. Están compuestas por partículas silanizadas de Cuarzo, Sílice⁷ y en algunos casos Zirconio, con tamaños promedio de 25 Nm y que tienen la capacidad de aglomerarse formando pequeños grupos que se comportan como partículas más grandes, conocidos como “nanoclusters” con tamaños de hasta 75 Nm²⁵, permitiendo que éstos materiales posean grandes cantidades de rellenos inorgánicos.

Gracias a la distribución de las partículas de relleno en éstos materiales, donde se combinan partículas individuales con conglomerados intencionalmente combinados de éstas, comportándose funcionalmente como una resina híbrida, pero con propie-



Tabla 2: Clasificación de rellenos inorgánicos de acuerdo a su morfología¹⁹

CLASIFICACIÓN	TIPOS DE RELLENO	COMPOSICIÓN QUÍMICA	TAMAÑO	CARACTERÍSTICAS	CONSIDRACIONES
Particulados	Micro partículas de cuarzo	Principalmente SiO ₂	10-15µm	≥65% aumento prop fisicomecánicas. Partículas irregulares	Índice refractivo > matriz orgánica, dificultando la penetración de la luz
	Micro partículas de vidrio	SiO ₂ , Ba, Sr	0.6-10µm	Radiopacas. Partículas irregulares	
	Nano partículas de Sílice coloidal	Principalmente SiO ₂	0.04-0.4µm	Excelente pulido. Partículas esféricas	Casi siempre se encuentran en combinación con otros tipos de rellenos, Dificiles de encontrar solas.
	Partículas de hidroxiapatita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)	100 nm	Libera Ca y P. Partículas irregulares	Aún en proceso de desarrollo
	Partículas pre polimerizadas	SiO ₂ + Matriz orgánica		Baja contracción por polimerización, disminución de la viscosidad. Partículas irregulares y esféricas	
Fibrilares	Micro pelillos (Monocristales)	Silicon Nitride Silicon Carbide	Diametro (media) 0.4-0.7 µm Longitud (media) 5-14 µm	Buenas propiedades mecánicas	
	Micro fibras cortas de vidrio	Silica	Diametro 10-17 µm Longitud 14-2400µm	Aumento exponencial de prop, fisicomecánicas, absorción de energía de fractura, etc.	Absorción de agua, percolación de oxidos inorgánicos solubles que afectan el desempeño del material
	Nanorellenos cerámicos	Silica, Zirconia, Combinados	160-390 nm	Excelentes propiedades mecánicas al ser combinadas con otros rellenos	En proporciones > 7.5% de Zirconia, presentan disminución de prop mecánicas
	Nanorellenos poliméricos	Nylon 6	100-900nm	Buen refuerzo de propiedades mecánicas	Hidrofiliidad del nylon induce a absorción de agua
	Nanotubos	Carbono	50-100 nm	Buen refuerzo de propiedades mecánicas	Apariencia oscura

dades estéticas muy parecidas a una de microlleno presentando bajos niveles de contracción por polimerización, pues al contar con una mayor proporción de rellenos (fase inorgánica) se reduce la matriz orgánica del material donde se encuentran los monómeros que conforman las cadenas poliméricas que son los causantes de la contracción volumétrica intrínseca del material, confiriéndole así muy buenas propiedades fisicomecánicas¹⁶.

FOTOPOLIMERIZACIÓN DE LAS RESINAS COMPOSITAS

Para alcanzar su máximo potencial, una resina compo-sita debe recibir el tipo y cantidad de energía necesaria a la apropiada longitud de onda durante el tiempo suficiente para activar eficazmente la polimerización²⁶. La intensidad de luz mínima requerida para polimerizar adecuadamente un incremento de resina de 2 mm es aproximadamente de 400 mW/cm² por 40 segundos^{27, 28},



Formas nóveles indeterminadas	Partículas porosas	Vidrios/Cerámica	2-4µm	Cuando se logra una absoluta penetración de la matriz resinosa en los poros, presentan mejora de propiedades mecánicas.	Al no penetrar bien en los poros la matriz resinosa, disminuyen prop mecánicas
	Partículas de sílice mesoporoso	Silica	496nm	Mejora en la penetración de la matriz organica (resinosa) en las porosidades, mejorando sus prop. Mecánicas	
	Rellenos estrellados	Hidroxiapatita	2-3µm	Mayor área interfacial en contacto con matriz resinosa, lo que mejora sus prop mecánicas	
	Rellenos Nanoclusters	SiO ₂ , ZrO ₂	0.07-2.7µm	Excelentes propiedades mecánicas, excelentes prop estéticas y pulido	

Tabla 3: Clasificación resinas compuestas según proporción y tamaño de partículas^{12, 22, 23, 24}

TIPO PARTÍCULAS	TAMAÑO	CARACTERÍSTICAS	CONSIDERACIONES
MACRORELLENO	10 a 50 µm	Resistentes	Difíciles pulir, Pérdida de estabilidad color.
MICRORELLENO	40 a 50 Nm	Estéticas	Poco resistentes, Sensibles a desgaste
HIBRIDAS	10 a 50 Nm	Buena resistencia en el sector posterior.	Poca variedad de tonos
HIBRIDAS MODERNAS	0.5 a 1 µm	Buena resistencia, mayor cantidad relleno (menos contracción), buen pulido, uso dientes anteriores.	--
NANO HIBRIDAS	10 a 100 Nm	Alta carga relleno, menor contracción, alta estética y pulido, uso dientes anteriores y posteriores	--

valores que actualmente pueden ser alcanzados por lámparas que proporcionan 800mW/cm² por 20 segundos.

Para asegurar las óptimas propiedades fisicomecánicas y compatibilidad con las estructuras biológicas de las resinas, es esencial proveer una adecuada polimerización, lo cual es dependiente no solo del material, sino también de la buena colocación de la unidad de fotopolimerización²⁷. La cantidad de energía necesaria para alcanzar dichos objetivos se ve influenciada tanto por la composición, color y translucidez del material en sí mismo²⁹,

como de algunas características de la unidad de fotopolimerización: distancia, inclinación, pico de irradiancia, etc.

Durante la polimerización, las moléculas de monómero de la matriz 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, lo que lleva a 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/restauración³⁰.



Para disminuir los efectos indeseables de la contracción por polimerización se implementa la técnica incremental de obturación^{31, 32}, la cual permite el manejo de incrementos de 2mm³³ con la finalidad de controlar el stress por contracción, reduciendo la deflexión cuspeada y el factor C de la cavidad, tanto en restauraciones directas de composite como en bulkfill³⁰, sin embargo, requiere de mayor tiempo operatorio³⁴.

RESINAS PARA TÉCNICA BULKFILL

Con el paso de los años, recientes investigaciones y trabajos Si bien la implementación de la técnica incremental permite manejar adecuadamente el stress por contracción, los avances en biomateriales llevaron a la búsqueda de materiales que facilitaran el proceso de restauración. Para el año 2006 se inicia el desarrollo de las resinas para técnica bulkfill³⁵, que ofrecen ser colocadas en un solo incremento, facilitando el proceso de restauración. Estos materiales resultaron inmediatamente de interés para ser implementados en restauraciones posteriores, principalmente debido a que presentaban poca contracción por polimerización³⁶ junto a la posibilidad de colocar monoincrementos de 4mm²,^{30, 37} hasta 5mm^{38, 39} disminuyendo así el tiempo clínico operatorio⁴⁰, lo cual las vuelve atractivas para los clínicos que buscan una Odontología más simple y rápida.

A la matriz orgánica de éstos materiales se incorporaron monómeros que actúan como moduladores de la reacción de fotopolimerización³⁸ confiriéndole al material una menor contracción por polimerización en restauraciones posteriores proximales⁴¹, la translucidez del material mejora la penetración y disipación de la luz a través del mismo, siendo más reactivos a la luz fotopolimerizante que las resinas convencionales^{30, 37, 40}. Algunas referencias reflejan mejoras en algunas propiedades mecánicas de éstas resinas, menor stress de polimerización y microfiltración⁴²; sin embargo, propiedades como el módulo elástico, dureza y resistencia flexural son muy parecidas a las resinas nanohíbridas⁴³. Estos materiales se comercializan en dos presentaciones: baja viscosidad, conocidas como “fluidas” usada como liner o sellador y resinas de cuerpo completo^{37, 44}.

CONCLUSIONES

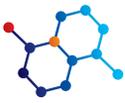
Para entender un material restaurador, siendo el caso: las resinas compuestas, es necesario conocer sus elementos constituyentes y entender las interrelaciones existentes entre los mismos, ya que esto determina el comportamiento final del material ante las situaciones a las que será sometido durante su funcionamiento. No todas las resinas compuestas son iguales, ni se comportan de la misma forma, esto va a depender de la finalidad para la cual haya sido diseñada, y a su vez de su composición que determina su comportamiento.

Las resinas compuestas actuales han sufrido modificaciones que pretenden mejorar sus propiedades físico-mecánicas, ópticas y de manejo, cada día surgen materiales con características novedosas que pretenden competir en el mercado con propiedades interesantes, sin embargo debe considerarse siempre la finalidad para la cual se pretende usar un material restaurador específico, ya sea por necesidades estéticas o funcionales, ya que esto

dependerá del tipo, disposición e interacción de sus elementos constituyentes (su composición) y definitivamente el sentido común por parte del operador. La búsqueda de materiales auto-suficientes que no requieran ni de la implementación de agentes adhesivos, ni de elementos externos como la luz para polimerizar; o bien que aporten elementos reparadores, desinfectantes o modificadores del tejido dañado (conocidos como materiales bioactivos) son el aparente futuro al cual se dirige la química de los materiales restauradores, incluyendo las resinas compuestas, por lo cual habrá que estar pendiente de los avances.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Illie N, Hickel R. Resin composite restorative materials: Composites. *Aust Dent J* [Internet]. 2011;56 Suppl 1:59–66. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01296.x>
2. 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>
3. 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. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2009.02.010>
4. Stein PS, Sullivan J, Haubenreich JE, Osborne PB. Composite resin in medicine and dentistry. *J Long Term Eff Med Implants* [Internet]. 2005;15(6):641–54. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1615/jlongtermeffmedimplants.v15.i6.70>
5. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*. 2002;23:1819–2
6. Alkhdhairy F. Wear resistance of bulkfill composite resin restorative materials polymerized under different curing intensities. *J Contemp Dent Pract*. 2017;18:39–43.
7. Mulligan S, Hatton PV, Martin N. Resin-based composite materials: elution and pollution. *Br Dent J* [Internet]. 2022;232(9):644–52. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41415-022-4241-7>
8. Bellinaso MD, Soares FZM, Rocha R de O. Do bulk-fill resins decrease the restorative time in posterior teeth? A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *J Investig Clin Dent* [Internet]. 2019;10(4):e12463. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jicd.12463>
9. Liu J, Zhang H, Sun H, Liu Y, Liu W, Su B, et al. The development of filler morphology in dental resin composites: A review. *Materials (Basel)* [Internet]. 2021;14(19):5612. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ma14195612>
10. Zimmerli B, Strub M, Jeger F, Stadler O, Lussi A. Composite materials: composition, properties and clinical applications. A literature review. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*. 2010;120(11):972–86.
11. Aminoroaya A, Esmaeely Neisiyany R, Nouri Khorasani S, Panahi P, Das O, Ramakrishna S. A review of dental composites: Methods of characterizations. *ACS Biomater Sci Eng* [Internet]. 2020;6(7):3713–44. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/acsbomaterials.0c00051>
12. Pratap B, Gupta RK, Bhardwaj B, Nag M. Resin based restorative dental materials: characteristics and future perspectives. *Jpn Dent Sci Rev* [Internet]. 2019;55(1):126–38. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdsr.2019.09.004>
13. Rebholz-Zaribaf N, Özcan M. Adhesion to zirconia as a function of primers/silane coupling agents, luting cement types, aging and test methods. *J Adhes Sci Technol* [Internet]. 2017;31(13):1408–21. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/01694243.2016.1259727>
14. Park YJ, Chae KH, Rawls HR. Development of a new photoinitiation system for dental light-cure composite resins. *Dent Mater* [Internet]. 1999;15(2):120–7. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/s0109-5641\(99\)00021-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0109-5641(99)00021-4)
15. Dunnick JK, Brix A, Sanders JM, Travlos GS. N,N-dimethyl-p-toluidine, a component in dental materials, causes hematologic toxic and carcinogenic responses in rodent model systems. *Toxicol Pathol* [Internet]. 2014;42(3):603–15. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0192623313489604>
16. Shinkai K, Taira Y, Suzuki S, Kawashima S, Suzuki M. Effect of filler size and filler loading on wear of experimental flowable resin composites. *J Appl Oral Sci* [Internet]. 2018;26(0). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-7757-2016-0652>
17. Habib EG, Ruili ;, Yazı ;, Meifang; Zhu XX. Inorganic Fillers for Dental Resin Composites - Present and Future. *ACS Biomaterials Science & Engineering* [Internet]. 2015; Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/acsbomaterials.5b00401>
18. Kaizer MR, de Oliveira-Ogliari A, Cenci MS, Opdam NJM, Moraes RR. Do nanofill or submicron composites show improved smoothness and gloss? A systematic review of in vitro studies. *Dent Mater* [Internet]. 2014;30(4):e41-78. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2014.01.001>
19. Liu J, Zhang H, Sun H, Liu Y, Liu W, Su B, et al. The development of filler morphology in dental resin composites: A review. *Materials (Basel)* [Internet]. 2021;14(19):5612. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ma14195612>
20. Kumar SR, Patnaik A, Bhat IK. Physical and thermo-mechanical characterizations of resin-based dental composite reinforced with silane-modified nanoalumina filler particle. *Proc Inst Mech Eng L J Mater Des Appl* [Internet]. 2016;230(2):504–14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/1464420715581004>
21. Lutz F, Phillips RW. A classification and evaluation of composite resin systems. *J Prosthet Dent* [Internet]. 1983;50(4):480–8. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913\(83\)90566-8](http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913(83)90566-8)
22. Wang R, Habib E, Zhu XX. Evaluation of the filler packing structures in dental resin composites: From theory to practice. *Dent Mater* [Internet]. 2018;34(7):1014–23. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2018.03.022>
23. Randolph LD, Palin WM, Leloup G, Leprince JG. Filler characteristics of modern dental resin composites and their influence on physico-mechanical properties. *Dent Mater* [Internet]. 2016;32(12):1586–99. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.09.034>
24. Heintze SD, Rousson V, Hickel R. Clinical effectiveness of direct anterior restorations--a meta-analysis. *Dent Mater* [Internet]. 2015;31(5):481–95. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2015.01.015>
25. Riva YR, Rahman SF. Dental composite resin: A review. *AIP Conference Proceedings* 2193, 020011. 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1063/1.5139331>
26. Al-Zain AO, Eckert GJ, Platt JA. The influence of distance on radiant exposure and degree of conversion using different light-emitting-diode curing units. *Oper Dent* [Internet]. 2019;44(3):E133–44. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2341/18-004-L>
27. Strazzi-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. Available from: <http://dx.doi.org/10.11607/prd.4437>
28. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent*. 1994;19(1):26–32
29. Rueggeberg FA. State-of-the-art: dental photocuring--a review. *Dent Mater* [Internet]. 2011;27(1):39–52. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.021>
30. 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>
31. 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>
32. 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>

33. Rasines Alcaraz MG, Veitz-Keenan A, Sahrman P, Schmidlin PR, Davis D, Iheozor-Ejiofor 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>

34. 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>

35. Olegário IC, Hesse D, Bönecker M, Imparato JCP, Braga MM, Mendes FM, et al. Effectiveness of conventional treatment using bulk-fill composite resin versus Atraumatic Restorative Treatments in primary and permanent dentition: a pragmatic randomized clinical trial. *BMC Oral Health* [Internet]. 2016;17(1):34. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s12903-016-0260-6>

36. 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>

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

38. 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>

39. 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>

40. Mosharrafian S, Heidari A, Rahbar P. Microleakage of two bulk fill and one conventional composite in class II restorations of primary posterior teeth. *J Dent (Tehran)*. 2017;14(3):123–31. [Citado 9 de Agosto de 2022] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5694844/pdf/JOD-14-123.pdf>

41. Lins RBE, Aristilde S, Osório JH, Cordeiro CMB, Yanikian CRF, Bicalho AA, et al. Biomechanical behaviour of bulk-fill resin composites in class II restorations. *J Mech Behav Biomed Mater* [Internet]. 2019;98:255–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.06.032>

42. Kim RJ-Y, Kim Y-J, Choi N-S, Lee I-B. Polymerization shrinkage, modulus, and shrinkage stress related to tooth-restoration interfacial debonding in bulk-fill composites. *J Dent* [Internet]. 2015;43(4):430–9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2015.02.002>

43. Roque J. Microdureza, resistencia a la flexión y grado de conversión en resinas compuestas: su relación con el proceso de fotopolimerización, como interpretarlos y aplicarlos a la selección del material restaurador. Artículo de revisión. *Revista de Operatoria Dental y Biomateriales RODYB* 2023; 12(2).

44. Bellinaso MD, Soares FZM, Rocha R de O. Do bulk-fill resins decrease the restorative time in posterior teeth? A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *J Investig Clin Dent* [Internet]. 2019;10(4):e12463. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jicd.12463>