

INVESTIGACIÓN ORIGINAL

# **Análisis de la dureza shore en resinas con diferentes fotoiniciadores: Estudio in vitro**

## **Shore hardness analysis of resins with different photoinitiators: In vitro study**

**Juan José Christiani<sup>1</sup>. Ricardo Hugo Altamirano<sup>2</sup>. María Teresa Rocha<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Doctor en Odontología. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.

<https://orcid.org/0000-0002-8627-9174>

<sup>2</sup> Doctor en Odontología. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.

<https://orcid.org/0000-0001-5418-4747>

<sup>3</sup> Doctora en Odontología. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.

<https://orcid.org/0000-0003-4611-0523>

Correspondencia:  
[jjchristiani@odn.unne.edu.ar](mailto:jjchristiani@odn.unne.edu.ar)

Recibido: 20/06/2025  
Aceptado: 22/08/2025  
Publicado: 25/08/2025

### ***Conflictos de intereses***

*Los autores señalan que no existe conflicto de intereses durante la realización del trabajo de investigación, además solo fue sometido a la Revista Científica “Especialidades Odontológicas UG” para su revisión y publicación.*

### ***Financiamiento***

*Los autores indican la utilización de fondos propios para la elaboración del trabajo de investigación.*

### ***Declaración de contribución***

*Todos los autores han contribuido en elaboración del trabajo de investigación, en las diferentes partes del mismo*

## **RESUMEN**

La estética en Odontología restauradora es una exigencia creciente entre los pacientes, y dentro de las propiedades críticas de los materiales restauradores, la dureza superficial es un factor que se debe evaluar. Objetivo: evaluar la dureza Shore D de diferentes resinas compuestas en relación al tipo fotoiniciador y lámpara de polimerización empleada. Materiales y Métodos: Estudio in vitro de tres resinas compuestas que utilizan diferentes sistemas de fotoiniciadores: Tetric Bulk Fill® (Ivocerin), Filtek Z250 XT® (Canforquinona) y Empress Direct® (Lucerin TPO + PPD), polimerizadas con lámparas LED monowave y LED poliwave. Se confeccionaron 60 muestras cilíndricas que fueron almacenadas en agua destilada a 37 °C por 24 horas. La dureza se midió con un durómetro digital Shore D, y los datos fueron analizados mediante ANOVA y prueba post hoc de Tukey. Resultados: Se observó diferencias estadísticamente significativas entre las resinas, independientemente del tipo de lámpara utilizada. Tetric Bulk Fill® mostró los valores más altos de dureza. Empress Direct® presentó los valores más bajos. La lámpara LED utilizada no tuvo un efecto estadísticamente



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

significativo sobre la dureza, a excepción en la resina Tetric Bulk fill, lo que indica que la formulación interna de la resina es el principal determinante de su comportamiento mecánico. Conclusión: Se debe elegir las resinas considerando su composición y uso clínico previsto, más allá del tipo de lámpara disponible, priorizando materiales con propiedades mecánicas adecuadas para cada tipo de restauración.

Palabras clave: Resinas, color, dureza.

## ABSTRACT

Aesthetics in restorative dentistry is a growing demand among patients, and within the critical properties of restorative materials, surface hardness is a factor that must be evaluated. Objective: To evaluate the Shore D hardness of different composite resins in relation to the type of photoinitiator and polymerization light used. Materials and Methods: In vitro study of three composite resins that use different photoinitiator systems: Tetric Bulk Fill® (Ivocerin), Filtek Z250 XT® (Camphorquinone) and Empress Direct® (Lucerin TPO + PPD), polymerized with monowave LED and polywave LED lamps. 60 cylindrical samples were made and stored in distilled water at 37°C for 24 hours. Hardness was measured with a digital Shore D durometer, and data were analyzed by ANOVA and Tukey's post hoc test. Results: Statistically significant differences were observed between the resins, regardless of the type of light used. Tetric Bulk Fill® showed the highest hardness values. Empress Direct® had the lowest values. The LED lamp used did not have a statistically significant effect on hardness, except for Tetric Bulk Fill, indicating that the resin's internal formulation is the main determinant of its mechanical behavior. Conclusion: Resins should be selected based on their composition and intended clinical use, beyond the type of light available, prioritizing materials with appropriate mechanical properties for each type of restoration.

Keywords: Resins, color, hardness.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevos materiales restauradores en Odontología ha permitido alcanzar mejores resultados tanto funcionales como estéticos. Las resinas compuestas han evolucionado considerablemente en las últimas décadas gracias a mejoras en la composición de sus matrices orgánicas, carga inorgánica y sistemas fotoiniciadores. La dureza superficial es una propiedad esencial que afecta directamente la resistencia al desgaste, a la abrasión y a la durabilidad clínica. Además, guarda relación con el grado de conversión del monómero en polímero, influido a su vez por el tipo de fotoiniciador y la eficiencia del sistema de polimerización<sup>1</sup>.

Las investigaciones orientadas a mejorar la resistencia al desgaste y disminuir la contracción de polimerización de las resinas compuestas se han centrado principalmente en

variaciones del tamaño, composición y distribución del relleno dentro de la matriz de resina, llegando en los últimos años a una nueva tecnología de relleno de tamaño nanométrico que al poseer un menor tamaño de partícula evidenciaron un menor grado de contracción durante la polimerización y brindaron al material no solo una mejor dureza sino también una mejor calidad de superficie y mayor capacidad de pulido<sup>2,3</sup>. La dureza superficial del material tiene gran importancia en el éxito clínico de la restauración, ya que mientras mayor sea, brindará al material una mejor resistencia al desgaste<sup>4,5</sup>.

La dureza es un componente determinante en el éxito de las restauraciones. La dureza es definida como la resistencia a la penetración, al desgaste o al rayado. Cuanta mayor cantidad de material de relleno tenga una resina, mejores serán sus propiedades físicas y por lo tanto mayor será su dureza, y menores serán su contracción y los



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

cambios dimensionales. La presencia del material de relleno hace que las resinas sean resistentes a cargas y a la abrasión<sup>6</sup>. La dureza Shore D se utiliza para medir la dureza de materiales más rígidos, como plásticos y resinas compuestas utilizadas en odontología, una mayor dureza Shore D en una resina compuesta puede indicar una mayor resistencia al desgaste y a la abrasión, contribuyendo a una mayor durabilidad de la restauración dental.

Si bien las resinas han ido mejorando constantemente, existen problemas asociados por el uso, tal es el caso de la contracción que ocurre en la polimerización, sensibilidad postoperatoria, controversias acerca de la durabilidad a largo plazo, y problemas con la resistencia al desgaste<sup>7-9</sup>.

La estética restauradora se ha transformado en un requisito indispensable en la odontología contemporánea, impulsada por pacientes cada vez más conscientes de la apariencia de sus dientes. Para satisfacer estas expectativas, los materiales compuestos no solo deben ofrecer excelente resistencia mecánica, sino también mimetización con el tejido dental circundante. De entre sus propiedades, la microdureza superficial es un factor determinante que influye en la resistencia al desgaste, la penetración de colorantes y la estabilidad del brillo a lo largo del tiempo.<sup>10-12</sup>

Asimismo, la composición de las resinas ha evolucionado con la incorporación de nuevos fotoiniciadores, lo más comúnmente utilizados son la canforquinona (CQ), el Lucerin Fenilpropandiona (PPD), Lucerin, trimetilbenzoin difenilfosfina óxido (TPO) y el Ivocerin, cada uno con diferente espectro de absorción y eficiencia. Estos fotoiniciadores requieren de lámparas LED con características específicas para una activación óptima<sup>5-8</sup>.

La canforquinona (CQ) ha sido el estándar durante décadas, con un pico de excitación alrededor de 470 nm. Sin embargo, su eficiencia puede verse limitada con ciertos sistemas de luz. En los últimos

años, han surgido alternativas como el Ivocerin, un fotoiniciador a base de germanio que ofrece mayor absorción y permite una polimerización más profunda, y el Lucerin TPO, que absorbe luz en un rango más amplio (380-420 nm) y mejora el grado de conversión<sup>9-12</sup>.

Estas innovaciones coinciden con el desarrollo de lámparas LED poliwave, capaces de emitir en múltiples longitudes de onda, estas poseen, además del rango azul (420 a 495 nm), diodos emisores en el espectro violeta (380 - 420 nm) para activar los fotoiniciadores alternativos, permitiendo activar simultáneamente diferentes fotoiniciadores, a diferencia de las lámparas monowave que poseen diodos emisores sólo en el rango de luz azul (420 -495nm)<sup>11-14</sup>. Por esta razón, es necesario analizar cómo la combinación de nuevo fotoiniciadores y fuentes de luz optimizadas influye en la dureza superficial, un parámetro determinante para la durabilidad funcional y estética de las restauraciones.

La dureza Shore D es un factor importante a considerar en la selección de materiales restauradores, ya que influye en la capacidad del material para soportar las fuerzas masticatorias y la exposición a diferentes agentes. El objetivo de este estudio es comparar la dureza shore de tres resinas Tetric N Ceram Bulk Fill<sup>®</sup> (Ivocerin), Filtek Z250 XT<sup>®</sup> (CQ) y Empress Direct<sup>®</sup> (Lucerin), evaluando su desempeño teniendo en cuenta el uso de lámparas LED monowave y poliwave.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio experimental in vitro de tres resinas para restauraciones que utilizan diferentes fotoiniciadores de polimerización: resina Tetric N Ceram Bulk Fill<sup>®</sup> Ivoclar Vivadent (con fotoiniciador de Ivocerin), resina Z250 XT<sup>®</sup> 3M Espe (Canforquinona) y la resina Empress Direct<sup>®</sup> Ivoclar Vivadent (Fenilpropandiona- PPD, Lucerin, trimetilbenzoin difenilfosfina óxido- TPO).

Se utilizaron 60 unidades experimentales confeccionados a partir de un molde en forma



*Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.*

cilindros de 4 mm altura por 4 mm de espesor (Figura 1), realizadas con las diferentes marcas de resinas utilizando para su polimerización una lámpara led monowave (Elipar® 3M) y una lámpara led poliwave (Valo® Ultradent). Fueron divididos en tres grupos para cada tipo de resinas y subdivididos a su vez para cada tipo de lámpara. La variable a analizar fue la microdureza superficial, utilizando como instrumentos para su análisis el Durómetro digital Shore D Teckoplus HTTK-112®.

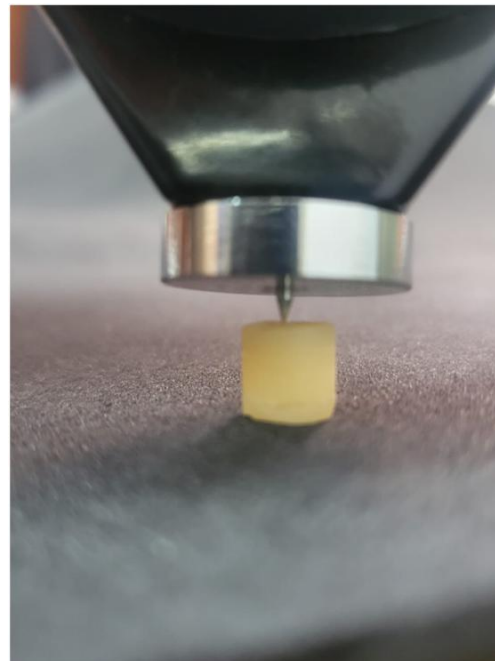
Las intensidades de la unidad de polimerización fueron medidas previamente a su uso con un radiómetro Woodpecker® en mw/cm<sup>2</sup>. Las muestras fueron almacenadas en agua destilada en estufa a 37° por 24 hs, Posteriormente se midió la dureza en ambos lados de las muestras (superior e inferior). La dureza superficial se evalúa midiendo la profundidad que alcanza una punta de acero normalizada cuando se presiona contra el material. Tiene un rango de hasta 100 grados de dureza, aplicando fuerza de 44.5 N, una presión de 5Kg con una punta de medición aguda de 30°. (Figura 2).

Los datos fueron registrados en una planilla ad hoc confeccionada a tal fin y posteriormente cargados en una base de datos para su posterior análisis estadístico con el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Los datos analizados fueron por medio de analisis de varianza (ANOVA), y los valores medios se compararon utilizando la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

*Figura 1. Confección de unidades experimentales*



*Figura 2. Evaluación de la Dureza shore D.*

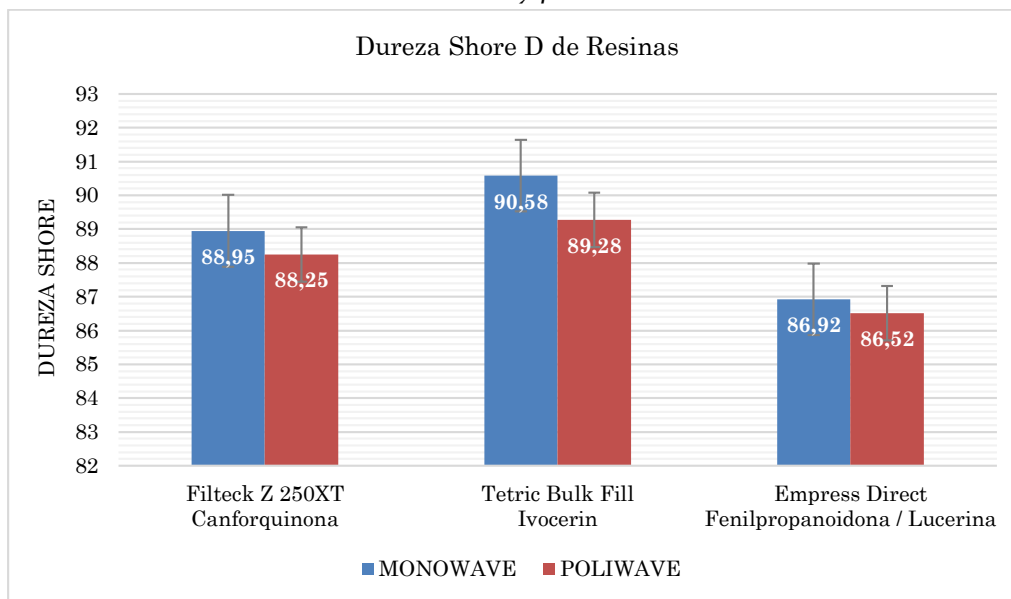


## RESULTADOS

Se observó que la resina Tetric N Ceram® Bulk Fill, formulada con fotoiniciador Ivocerin, presentó los valores más altos de dureza Shore D entre todos los grupos evaluados, independientemente del tipo de lámpara utilizada. Esta resina alcanzó un valor promedio de 90,5 al ser polimerizada con lámpara monowave y 89,2 con lámpara poliwave (Figura 3), reflejando un desempeño mecánico superior en ambas condiciones experimentales.

En contraste, la resina Empress Direct®, que utiliza Lucerin TPO y PPD como sistema fotoiniciador, presentó los valores más bajos de dureza, con medias de 86,92 (monowave) y 86,52 (poliwave). La resina Filtek Z250 XT® mostró valores intermedios, sin diferencias respecto a las otras resinas en términos de interacción lámpara-material.

Figura 3. Valores promedio de dureza Shore D para cada resina bajo condiciones de polimerización con lámparas monowave y poliwave.



Al análisis estadístico mediante ANOVA de un factor seguido de la prueba post hoc de Tukey, se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tipos de resina evaluadas ( $p < 0,05$ ), lo que indica que la composición del material es un factor determinante en la dureza Shore D obtenida, como se observa en la Tabla 1.

Sin embargo, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas asociadas al tipo de lámpara utilizada (monowave o poliwave) dentro de cada resina, excepto en el grupo de resina de Tetric Bulk Fill\*, donde la diferencia entre lámparas alcanzó significancia estadística (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de dureza Shore D entre materiales y lámparas (Test de Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

Material	Tipo de lámpara	Media	E.E.	* Grupo estadístico
Empress Direct	Poliwave	86,52	0,91	A
Empress Direct	Monowave	86,92	0,30	A
Filtek Z250 XT	Poliwave	88,25	0,58	B
Filtek Z250 XT	Monowave	88,95	0,58	B
Tetric Bulk Fill	Poliwave	89,28	0,30	B
Tetric Bulk Fill	Monowave	90,58	0,91	C

\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.



## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio revelan que, bajo las condiciones evaluadas, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la dureza superficial Shore D entre las misma marca de resinas restauradoras con distintos fotoiniciadores, polimerizadas con lámpara LED monowave o poliwave, a excepción de la resina Tetric Bulk Fill. Esta falta de diferencia contrasta con lo reportado en otros estudios recientes donde se sugiere una ventaja mecánica cuando se emplean fotoiniciadores alternativos y lámparas de amplio espectro<sup>12-14</sup>.

Una posible explicación para estos resultados puede ser la eficiencia generalizada de las lámparas LED actuales, incluso las monowave, cuya intensidad lumínica y enfoque óptico han mejorado considerablemente en los últimos años, permitiendo una activación suficientemente eficaz de fotoiniciadores tanto convencionales como alternativo<sup>2</sup>. Asimismo, los tiempos de exposición utilizados en este estudio (pueden haber sido suficientes para alcanzar un grado de conversión adecuado en todos los grupos evaluados, disminuyendo así la sensibilidad del sistema a variaciones en el tipo de iniciador o en el espectro lumínico<sup>8-12</sup>.

La resina Tetric N Ceram Bulk Fill® mostró consistentemente los valores más altos de dureza, tanto con lámpara monowave como poliwave. Esta ventaja puede atribuirse a su fórmula avanzada, que incluye fotoiniciadores de alta eficiencia como Ivocerin, una matriz monomérica de baja contracción y una alta carga de partículas inorgánicas, factores que favorecen una conversión polimérica más completa y una mayor densidad estructural<sup>13,14</sup>. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Nguyen et al.<sup>15</sup>, quienes destacaron que las resinas bulk fill de última generación tienden a presentar mejor desempeño mecánico debido a su capacidad de curado profundo y su formulación reforzada.

Por otro lado, la resina Filtek Z250 XT®, basada en canforquinona (CQ), mostró valores intermedios de dureza. Aunque se trata de una resina microhíbrida con buenos resultados clínicos, su sistema de curado se basa en una tecnología más tradicional. Según Ilie y Stark<sup>5</sup>, variables como la opacidad del material, la distancia entre la fuente de luz y la superficie y el perfil energético empleado pueden limitar la eficiencia del fotoiniciador CQ, influyendo negativamente en el grado de conversión y en la dureza superficial. Apoyando esta perspectiva, Price et al.<sup>6</sup> explican que la combinación entre emisión de luz y distribución homogénea del haz es clave para un curado eficiente, particularmente en materiales basados en CQ.

Finalmente, Empress Direct® presentó los valores de dureza más bajos, aunque dentro de los rangos clínicamente aceptables. Esta resina, diseñada principalmente para restauraciones anteriores por su estética superior, posee un menor contenido de carga inorgánica y una matriz más flexible, lo que reduce su dureza superficial<sup>13</sup>. Además, si bien emplea fotoiniciadores modernos como Lucerin TPO y PPD, su desempeño mecánico no siempre se correlaciona directamente con su eficiencia fotónica, como explican Lee et al.<sup>15</sup>, quienes señalan que las formulaciones estéticas pueden priorizar otras propiedades como la translucidez o la capacidad de pulido por encima de la dureza.

En conjunto, estos hallazgos respaldan la hipótesis de que la formulación del material es el principal determinante de su comportamiento mecánico, y que la lámpara de polimerización, aunque relevante, no logra compensar por completo las limitaciones estructurales propias de cada resina. El éxito clínico no depende únicamente del grado de conversión, sino también del diseño funcional de cada material, que puede estar orientado a diferentes indicaciones clínicas<sup>15-17</sup>.

Por su parte al analizar el uso del tipo de lámpara la resina Tetric N Ceram® Bulk Fill, formulada con Ivocerin como fotoiniciador, presentó valores



*Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.*

superiores de dureza Shore D cuando fue fotopolimerizada con la lámpara monowave (Elipar®), en comparación con la lámpara poliwave (Valo®). Este resultado resulta interesante, ya que Ivocerin es un fotoiniciador altamente sensible a longitudes de onda cortas (alrededor de 410 nm), típicamente más activado por lámparas de espectro amplio como las poliwave.<sup>10-15</sup> Una posible explicación puede estar en la mayor intensidad efectiva de la lámpara monowave en su pico de emisión específico. Si bien la lámpara poliwave cubre un rango más amplio, su energía puede distribuirse entre varias longitudes de onda, reduciendo la potencia específica en el rango exacto de máxima absorción del Ivocerin. En contraste, la lámpara monowave emite luz más concentrada y estable en torno a los 420-480 nm, lo cual puede haber generado una activación más eficiente del Ivocerin en capas superficiales, resultando en una red polimérica más rígida en ese nivel<sup>15,16</sup>.

Cabe destacar que Park et al.<sup>17</sup> también informaron variaciones en la dureza de algunos composites al ser fotopolimerizados con poliwave, atribuyéndolas a interacciones entre la matriz orgánica y la dispersión interna de la luz. En ese sentido, el desempeño superior con lámpara monowave observado en este estudio podría ser el resultado de una mayor transmisión interna y menor interferencia óptica dentro de la masa de resina, lo cual aún requiere más investigación.

Además, factores técnicos como la colimación del haz de luz y la estabilidad térmica de la lámpara monowave podrían haber favorecido una polimerización más uniforme en las condiciones in vitro. No se debe descartar tampoco la posibilidad de que la lámpara poliwave haya producido un gradiente térmico leve que, al combinarse con la composición de la resina, haya inducido cierta contracción temprana o un patrón de curado menos homogéneo, afectando la dureza final<sup>13-15</sup>. Este resultado también puede deberse a una interacción específica entre la formulación de Tetric N Ceram® (que incluye cargas inorgánicas,

matriz monomérica y modulación óptica propia del sistema Bulk Fill) y el perfil de emisión de la lámpara monowave, sugiriendo que no todas las resinas con Ivocerin se comportan igual ante distintos tipos de lámparas<sup>16</sup>.

Si bien este hallazgo contradice algunas expectativas basadas en el perfil espectral del fotoiniciador, evidencia que no siempre una lámpara poliwave garantiza mejores resultados y que la compatibilidad específica entre la fórmula de la resina y la fuente lumínica puede ser más determinante que la tecnología de curado en sí misma. Estudios previos como los de Pérez-Pachas et al.<sup>18</sup>, señala que la microdureza y la profundidad de curado de resinas bulk-fill están condicionadas por factores ópticos intra-resina como la absorción, la opacidad y la distribución de luz, en lugar de ser determinadas únicamente por el tipo de lámpara. Esto coincide con Ahmad Maghaireh et al.<sup>19</sup>, quienes demostraron que, más allá del espectro de emisión, el grosor del material y su capacidad de transmitir luz definieron la dureza superficial en tratamientos con lámparas monowave y poliwave.

## CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio evidencian que, independientemente del tipo de lámpara LED utilizada para la fotopolimerización, las propiedades mecánicas, específicamente la dureza superficial, varían significativamente según la composición química de cada resina compuesta. La resina Tetric N Ceram® Bulk Fill presentó los valores más altos de dureza Shore D, lo que puede atribuirse a su avanzada formulación con alto contenido de carga inorgánica y el uso de Ivocerin como fotoiniciador de alta eficiencia. En contraste, Empress Direct®, diseñada para restauraciones anteriores, mostró valores menores, coherentes con su matriz más blanda y orientada a la estética.

Estos hallazgos destacan que el comportamiento mecánico de una resina no depende únicamente del sistema de fotopolimerización, sino principalmente de su estructura interna, la cual



determina su capacidad de respuesta ante cualquier tipo de fuente lumínica. Aunque las lámparas LED poliwave pueden ofrecer ventajas teóricas en términos de espectro de activación, no logran superar las limitaciones propias de materiales con formulaciones menos robustas.

En este contexto, el clínico debe priorizar la selección racional del material restaurador en función de sus propiedades intrínsecas y del tipo de rehabilitación que va a realizar, más allá del tipo de lámpara disponible en el consultorio. La decisión debe basarse en un equilibrio entre estética, resistencia mecánica y compatibilidad con el protocolo de trabajo habitual.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Leprince JG, Bacchi A, Naji M, et al. Effect of germanium-based photoinitiators with different LED light spectra on composite performance. *Dent Mater.* 2021;37(4):605–617. doi:10.1016/j.dental.2020.12.011
2. Müller A, Torres CRG, Freitas AS, et al. Impact of LED poliwave curing units on hardness and conversion of bulk-fill composites. *J Dent Res Clin Transl Res.* 2022;8(1):51–59. doi:10.3290/j.qi.b4984231
3. Varshney I, Jha P, Nikhil V. Effect of monowave and poly-wave light curing on the degree of conversion and microhardness of composites with different photoinitiators: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2022 Nov-Dec;25(6):661–665. doi:10.4103/jcd.jcd\_223\_22
4. Elsharawy R, Elawsya M, AbdAllah A, ElEmbaby A. Polymerization efficiency of different bulk-fill resin composites cured by monowave and polywave light-curing units: a comparative study. *Quintessence Int.* 2024 Apr;55(4):264–272. doi:10.3290/j.qi.b4984231
5. Ilie N, Stark K. Effect of different curing protocols on the mechanical properties of low-viscosity bulk-fill composites. *Clin Oral Investig.* 2015;19(2):271–279. doi:10.1007/s00784-014-1262-x.
6. Price RB, Ferracane JL, Shortall AC. Light-Curing Units: a review of what we need to know. *J Dent Res.* 2015;94(9):1179–1186. doi:10.1177/0022034515594786
7. Araújo JLN, Alencar CM, Barbosa GM, et al. Effect of LEDs with Different Wavelengths on the Microhardness and Nanohardness of Nanohybrid Composite Resins. *J Contemp Dent Pract.* 2021;22(2):122–127. doi:10.5005/jp-journals-10024-3032
8. Tsujimoto A, Barkmeier WW, Takamizawa T, et al. Ultrafast polymerization kinetics of germanium-initiated composites. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(1):22–30.
9. Lima R, Troconis C, Moreno M, et al. Are polywave light-emitting diodes more effective than monowave ones in the photoactivation of resin-based materials containing alternative photoinitiators? A systematic review. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2023;127:105905. doi:10.1016/j.jmbbm.2023.105905.
10. Leprince JG, Hadis MA, Shortall AC, Ferracane JL, Devaux J, Leloup G. Photoinitiator type and light-curing protocol influence mechanical properties and degree of conversion of bulk fill composites. *Dent Mater.* 2014;30(6):594–601.
11. Varshney I, Jha P, Nikhil V. Effect of monowave and polywave light curing on the degree of conversion and microhardness of composites with different photoinitiators: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2022;25(6):661–665. DOI: 10.4103/jcd.jcd\_223\_22.
12. Chen H, Wu Z, Cao Y, et al. Depth of cure and mechanical properties of bulk-fill composites with new initiators. *Restor Dent Endod.* 2023;48(4):e45. doi:10.5395/rde.2023.48.e45
13. Lee Y, Lee M, Choi Y, et al. Light absorption efficiency of Lucerin TPO compared with CQ and Ivocerin. *J Dent.* 2024;120:103402. doi:10.1016/j.jdent.2022.103402
14. Singh S, Patil S, Kumar R, et al. Clinical evaluation of hardness in composite restorations: 2-year follow-up. *Oper Dent.* 2025;50(1):45–53.





15. Nguyen QV, Park JH, Shin SP. Comparative study of polymerization efficiency between modern and conventional initiators. Clin Oral Investig. 2023;27(2):1453-1463.
16. Thomaidis S, Kampouropoulos D, Antoniadou M, Kakaboura A. Evaluation of the Depth of Cure by Microhardness of Bulk-Fill Composites with Monowave and Polywave LED Light-Curing Units. Appl. Sci. 2024;14(24):11532.  
<https://doi.org/10.3390/app142411532>.
17. Park J, Lee SH, Hwang J. Photoinitiator-LED combinations and their effect on composite properties. Dent Mater. 2021;37(7):1102-1114.
18. Pérez-Pachas B, Shibuya-Panduro F, Castro-Ramirez L, Cervantes-Ganoza L, Ladera-Castañeda M, Huamani-Echaccaya J, Cayo-Rojas C. Surface microhardness and depth of cure in bulk fill resin composites with and without preheating: An in vitro study. J Clin Exp Dent. 2025;17(7):e825-33.  
doi:10.4317/jced.62844  
<https://doi.org/10.4317/jced.62844>
19. Maghaireh GA, Price RB, Abdo N, Taha NA, Alzraikat H. Effect of Thickness on Light Transmission and Vickers Hardness of Five Bulk-fill Resin-based Composites Using Polywave and Single-peak Light-emitting Diode Curing Lights. Oper Dent. 2019 Jan/Feb;44(1):96-107. doi: 10.2341/17-163-L. Epub 2018 Jun 28. PMID: 29953339.

