

Análisis de la irradiancia de lámparas de fotocurado de centros de salud de una ciudad colombiana

INVESTIGACIÓN

Analysis of the irradiance of light-curing lamps in health centers of a colombian city

Análise da irradiância de lâmpadas de fotopolimerização em centros de saúde de uma cidade colombiana

Resumen

Objetivo: Evaluar la irradiancia de las lámparas de fotocurado empleadas en los centros de salud de la ESE Alejandro Próspero Reverend de Santa Marta (Colombia), en relación con los límites de aceptación establecidos por los fabricantes y los estándares internacionales de irradiancia. **Materiales y Métodos:** Estudio analítico y transversal. Se midió la irradiancia de 10 lámparas de fotocurado de los centros de salud de Santa Marta a diferentes distancias (0, 2 y 4 mm) utilizando un radiómetro LM-1 Woodpecker. Los resultados se compararon con los niveles recomendados por los fabricantes y los estándares internacionales (300 – 500 mW/cm²). **Resultados:** Se encontró que la irradiancia disminuyó significativamente con la distancia desde la fuente de luz. En el 63% de los centros de salud analizados, no se cumplieron con los niveles recomendados por los fabricantes. En general, la irradiancia fue adecuada en el 60% de las lámparas al cotejarse con el estándar más recientes de 500 mW/cm²; alcanzó el 90% cuando se comparó con el estándar tradicional de 300 – 400 mW/cm². **Discusión:** Las lámparas de fotocurado en los centros de salud no cumplen con las recomendaciones de los fabricantes y varias no alcanzan los umbrales actualizados recomendados en la literatura científica. Por lo tanto, es imperativo implementar medidas de control de calidad para los equipos dentales. **Conclusión:** Se debe verificar constantemente la irradiancia en las lámparas de fotocurado para garantizar el éxito de la polimerización. Se recomienda la implementación de protocolos de mantenimiento para mejorar la calidad del tratamiento odontológico, así como una educación continua para los odontólogos sobre los parámetros técnicos y los principios biofísicos de las lámparas de fotocurado.

 Giorgina Patricia Noguera-Vergara¹

 Midian Clara Castillo-Pedraza²

 Jorge Homero Wilches-Visbal³

CORRESPONDENCIA

Jorge Homero Wilches-Visbal

jwilches@unimagdalena.edu.co

Recibido 13/feb/2025

Aceptado 25/mar/2025



Palabras clave:

Resinas Compuestas, Curación por Luz de Adhesivos Dentales, Estándares de Referencia, Calibración, Centros Comunitarios de Salud.

1 Odontóloga, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: giorginanoguera@unimagdalena.edu.co

2 Odontóloga, Especialista en Estadística Aplicada, Doctora en Odontología. Docente de Prótesis y Seminario Taller III (Redacción Científica). Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: mcastillo@unimagdalena.edu.co

3 Ingeniero Físico, Especialista en Estadística Aplicada, Doctor en Física Aplicada a la Medicina y Biología. Docente de Biofísica y Seminario Taller III (Redacción Científica). Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: jwilches@unimagdalena.edu.co

Abstract

Objective: To evaluate the irradiance of light-curing lamps used in some health centers of ESE Alejandro Próspero Reverend in Santa Marta (Colombia) concerning the acceptance limits established by manufacturers and international irradiance standards. **Materials and Methods:** This is an analytical and cross-sectional study. Ten light-curing lamps from the health centers in Santa Marta were evaluated by measuring their irradiance at different distances (0, 2, and 4 mm) using a Woodpecker LM-1 radiometer. The results were compared with the manufacturers' recommended levels and international standards (300 – 500 mW/cm²). **Results:** It was found that irradiance decreased significantly with increasing distance from the light source. In 63% of the health centers analyzed, the lamps did not meet the manufacturers' recommended levels. Overall, irradiance was adequate in 60% of the lamps when compared to the most recent standard of 500 mW/cm²; this increased to 90% when compared to the traditional standard of 300 – 400 mW/cm². **Discussion:** The light-curing lamps in the health centers do not comply with the manufacturers' recommendations, and several fall short of the updated thresholds recommended in the scientific literature. Therefore, it is imperative to implement quality control measures for dental equipment. **Conclusion:** Irradiance in light-curing lamps should be constantly verified to ensure successful polymerization. It is recommended to implement maintenance protocols to improve the quality of dental treatments, as well as to provide continuous education for dentists regarding the technical parameters and biophysical principles of light-curing lamps.

Keywords: Composite Resins, Light-Curing of Dental Adhesives, Reference Standards, Calibration, Community Health Centers.

Introducción y Antecedentes

Las lámparas de fotocurado son dispositivos electrónicos fundamentales en la práctica clínica de odontología, que utilizan luz visible entre el espectro azul y violeta (400 – 500 nm) para activar los fotoiniciadores presentes en los materiales compuestos a base de resina,

Resumo

Objetivo: Avaliar a irradiância das lâmpadas de fotopolimerização utilizadas em alguns centros de saúde da ESE Alejandro Próspero Reverend em Santa Marta (Colômbia), em relação aos limites de aceitação estabelecidos pelos fabricantes e aos padrões internacionais de irradiância. **Materiais e Métodos:** Estudo analítico e transversal. Foram avaliadas 10 lâmpadas de fotopolimerização dos centros de saúde de Santa Marta, medindo-se a irradiância a diferentes distâncias (0, 2 e 4 mm) utilizando um radiômetro LM-1 Woodpecker. Os resultados foram comparados com os níveis recomendados pelos fabricantes e com os padrões internacionais (300 – 500 mW/cm²). **Resultados:** Observou-se que a irradiância diminuiu significativamente com o aumento da distância da fonte de luz. Em 63% dos centros de saúde analisados, as lâmpadas não atenderam aos níveis recomendados pelos fabricantes. De modo geral, a irradiância foi adequada em 60% das lâmpadas quando comparada ao padrão mais recente de 500 mW/cm², atingindo 90% quando comparada ao padrão tradicional de 300 – 400 mW/cm². **Discussão:** As lâmpadas fotopolimerizadoras dos centros de saúde não atendem às recomendações dos fabricantes e várias delas ficam fora dos limites recomendados pela literatura científica atual. Portanto, é urgente implementar medidas de controle de qualidade para esses equipamentos odontológicos. **Conclusão:** É necessário verificar constantemente a irradiância das lâmpadas de fotopolimerização para garantir o sucesso da polimerização. Recomenda-se a implementação de protocolos de manutenção para melhorar a qualidade do tratamento odontológico, bem como a educação contínua dos dentistas sobre os parâmetros técnicos e os princípios biofísicos das lâmpadas de fotopolimerização.

Palavras-chave: Arco dental, Grupo com Ancestrais Nativos do Continente Americano, Grupo com Ancestrais do Continente Europeu.

permitindo así su polimerización y solidificación. La tecnología de las lámparas de fotocurado ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, pasando de las tradicionales lámparas halógenas a las más modernas lámparas LED (diodos emisores de luz). Las lámparas

LED ofrecen varias ventajas, como una mayor eficiencia energética, una vida útil más prolongada y una emisión de luz más uniforme y focalizada.⁽¹⁾

Existen diversos tipos de lámparas de fotocurado, cada una con características y ventajas específicas. Las primeras en ser empleadas en odontología fueron las lámparas halógenas de tungsteno de cuarzo (QTH). El primer composite restaurador estético y fotopolimerizado con esta lámpara data de 1976.⁽²⁾ Estas lámparas emiten una luz de curado visible que proviene de un filamento de tungsteno encerrado en una carcasa de cuarzo cristalino transparente, llena de un gas a base de halógeno. No obstante, presentan una baja eficiencia energética y una vida útil limitada. Adicionalmente, generan una cantidad considerable de calor que puede provocar incomodidad en el paciente y disminuir la efectividad de los materiales restauradores.⁽³⁾

Las lámparas de fotocurado de diodos emisores de luz (LED en inglés Light Emitted Diode) han tenido un impacto significativo en el ámbito odontológico, destacándose por su eficiencia energética, longevidad, capacidad de emitir luz azul en un espectro más reducido y la menor generación de calor en comparación con otras unidades de fotocurado, factor que contribuye a reducir el riesgo de quemaduras o laceraciones en los tejidos blandos.⁽⁴⁾ Otro tipo de equipo disponible son las lámparas de arco de plasma, que producen una luz intensa de amplio espectro. Sin embargo, el uso de esta tecnología ha disminuido debido a su alto costo, poca vida útil y la generación de ozono, que puede ser perjudicial para los tejidos orales.⁽³⁾

Independientemente del tipo de equipo utilizado para el proceso de fotocurado, la fotopolimerización tiene el mismo objetivo: "transformar los materiales compuestos en estructuras sólidas y duraderas". Para garantizar el éxito de este proceso es clave que la lámpara de fotocurado emita una irradiancia o densidad de potencia adecuada, dentro del rango (idealmente en el pico) de longitud de onda de absorción del fotoiniciador. En efecto, la energía de los fotones emitidos se puede calcular como,

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

donde h es la constante de Planck, c es la velocidad de la luz en el medio y λ es la longitud de onda de los fotones emitidos por la lámpara.

La irradiancia se define como la potencia de la luz por unidad de área, expresada en milivatios por centímetro cuadrado (mW/cm^2),⁽⁵⁾

$$I_{\lambda} = \frac{P}{A} \quad (2)$$

donde P es la potencia de emisión a una determinada longitud de onda λ y A es el área irradiada. Sin embargo,

como las lámparas tiene una emisión espectral (o espectro de emisión), la irradiancia total se calcularía como,

$$I = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\lambda} d\lambda \quad (3)$$

en que I_{λ} representa la irradiancia a una longitud de onda específica λ_1 es la longitud de onda de emisión de menor valor y λ_2 la de mayor valor.

Así, la energía transmitida (E) al material restaurativo se puede obtener así,

$$E = \int_{t_1}^{t_2} IA dt \quad (4)$$

donde t_1 y t_2 son el tiempo de inicio y finalización de la irradiación. Su unidad es el Julio (J).

Tal vez el factor clave para el curado, aparte de la irradiancia, es la dosis de exposición o densidad de energía, que deviene de la Ec. (4) así,

$$D = \int_{t_1}^{t_2} Idt \quad (5)$$

y se expresa en J/cm^2 . De aquí se deduce que el tiempo de irradiación puede compensar la disminución de la irradiancia. Así, a mayor irradiancia, menor será el tiempo necesario para el curado y la polimerización. De hecho, varios estudios han demostrado que para lograr una polimerización óptima es necesario un nivel de irradiancia entre 16 y 24 J/cm^2 . Por ejemplo, las antiguas lámparas de tungsteno de cuarzo, con irradiancias de 400 mW/cm^2 , necesitaban alrededor de 50 s para polimerizar, mientras que las lámparas LED más modernas, con irradiancias hasta 10 a 12 veces mayores, solo requieren de 4 a 5 s.⁽⁶⁾

Más específicamente, la relación entre la irradiancia y los fotoiniciadores es directamente proporcional; es decir, a mayor irradiancia, más fotones inciden sobre la resina compuesta, incrementando la probabilidad de que estos entreguen la energía necesaria para iniciar la polimerización de manera eficaz.⁽⁷⁾

Sin embargo, también es importante conocer el rango de longitudes de onda en el cual el fotoiniciador absorbe la luz de forma más eficaz. Idealmente, la longitud de onda de la radiación debería coincidir con la del pico de absorción del fotoiniciador.⁽⁸⁾ Existen dos tipos de fotoiniciadores: tipo I (Lucirin TPO e Ivocerin) y II (canforquinona y fenilpropanodiona). Los de tipo I tienen una eficiencia cuántica mayor que los de tipo II, por lo que necesitan menos cantidad de fotones para generar los radicales libres suficientes para iniciar la polimerización. Todos estos fotoiniciadores reaccionan a longitudes de onda entre 320 y 510 nm, siendo particularmente reactivos a menores de 330 nm. Si el análisis se centra en la región después de los 330 nm, se encuentra que la cafor-

quinona tiene un pico de absorción cercano a los 470 nm (región azul) y la fenilpropanodiona en los 405 nm mientras que el Lucirin y el Ivocerin en los 380 nm y 410 nm respectivamente. Por tanto, pequeños cambios en el espectro de emisión (Ec. (3)), aunque no perceptibles al ojo humano, pueden ser relevantes en materia de fotopolimerización. De ahí la importancia que tendría conocer los fotoiniciadores que hacen parte de las resinas.⁽⁹⁾

Para garantizar una óptima polimerización es crucial que el odontólogo conozca y opere dentro de las especificaciones técnicas de las lámparas de fotocurado, indicadas por el fabricante, en lo que concierne a la irradiancia y/o tiempo de irradiación, así como las características del material utilizado. Pese a esto, un grueso número de odontólogos siguen eligiendo las lámparas principalmente por su forma o precio, ignorando el tipo e irradiancia de esta.⁽¹⁰⁾ En consecuencia, es posible que estos profesionales que no comprendan las características esenciales ni los parámetros operativos de las unidades de fotocurado, lo que puede llevar a una elección inadecuada del equipo y al no éxito del tratamiento.

Por tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar si los niveles de irradiancia de las lámparas de fotocurado utilizadas en ciertos centros de la red pública

de salud de una ciudad del Caribe colombiano cumplen con los estándares de aceptación establecidos por los fabricantes y los reportados en la literatura científica internacional.

Materiales y Métodos

TIPO DE ESTUDIO

Estudio analítico de carácter transversal.

POBLACIÓN

La población estuvo inicialmente conformada por las 11 lámparas de fotocurado de los nueve centros de salud de la E.S.E Alejandro Próspero Reverend, Santa Marta, Colombia con los que la Universidad del Magdalena tiene convenio. Sin embargo, se excluyó la lámpara de un centro de salud (Manzanares) por no estar en funcionamiento durante el periodo de medición (octubre de 2024). En consecuencia, la población de estudio se redujo a 10 lámparas disponibles en los ocho centros de salud restantes. Además, se registraron la marca y el número de serie, así como el umbral de aceptación de irradiancia proporcionado por el fabricante (Tabla 1).

TABLA 1

Detalles técnicos de las lámparas de fotocurado usadas en los centros de salud del estudio

CENTRO DE SALUD	nº de lámpara	MARCA	SERIE	UMBRAL DE IRRADIANCIA (mW/cm ²)
La Candelaria	1	Woodpecker LED F	L1840297F	1600
	2	Woodpecker LED F	L1840280F	1600
Almendros	1	Woodpecker LED D	L1440092E	500
	2	Coltoux_LED	120614014	300
Bastidas	1	Oral_galaxy	MIA5Y0324	2700
El Parque	1	Woodpecker LED F	L1840290F	1600
Malvinas	1	Coltoux_LED	120615062	300
Bonda	1	Coltoux_LED	120615091	300
La Paz	1	Woodpecker LED F	L17B0279F	1600
Gaira	1	Woodpecker iLED	E00322	1000

Fuente: elaboración propia.*Irradiancia recomendada por el fabricante o la mínima recomendada cuando se trataba de un rango de aceptabilidad.

INSTRUMENTOS

Se utilizó un radiómetro LM-1 Woodpecker para medir la irradiancia del haz de cada lámpara de fotocurado. Para ello, la punta de la guía de luz de cada lámpara se colocó a distancias de 0, 2 y 4 mm, de manera perpendicular al área sensible del radiómetro, y se mantuvo la irradiación durante 10 s. Se realizaron 10 mediciones por lámpara. Los registros fueron digitados en una hoja de MS Excel 365 para su posterior exportación al software estadístico de trabajo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se llevaron a cabo pruebas de normalidad para determinar la naturaleza de la distribución de los datos de irradiancia de cada lámpara. Con base en estos resultados, se calcularon la media y la desviación estándar (DE), o la mediana y el rango intercuartil (RIC) para cada lámpara en el centro de salud. También se estableció la relación matemática entre la media de la irradiancia de todas las lámparas y la distancia de irradiación, con el objetivo de evaluar el grado de proporcionalidad.

Posteriormente, se aplicó una prueba t (o de Wilcoxon) de una muestra para identificar diferencias significativas entre la media o mediana de irradiancia de las lámparas en cada centro de salud y el umbral de aceptación correspondiente, según lo informado por el fabricante. La hipótesis nula fue que “no existe evidencia científica suficiente para afirmar que hay diferencias entre las irradiancias de las lámparas de fotocurado de los centros de salud y la irradiancia recomendada por el fabricante para cada una de ellas.”

Asimismo, se comparó la irradiancia de las lámparas agrupadas por marca, utilizando la prueba de Kruskal-Wallis. En este caso, la hipótesis nula planteada fue que “no existe evidencia científica suficiente para afirmar que hay diferencia entre las irradiancias de las lámparas de fotocurado de las distintas marcas”.

Para todas las pruebas estadísticas realizadas, se estableció un nivel de significancia de 0,05 ($p < 0,05$). En cuanto al tamaño del efecto⁽¹¹⁾ de la prueba t (o de Wilcoxon) de una muestra, se utilizó la d de Cohen (δ) para irradiancias con distribución normal, y la correlación biseriada de rangos (CBR) en los demás casos.^(12,13) Respecto al tamaño del efecto de la prueba de Kruskal-Wallis, se empleó el epsilon cuadrado (ϵ^2).⁽¹⁴⁾ **Tabla 2**

ASPECTOS ÉTICOS

El presente estudio garantizó el cumplimiento de la normativa ética vigente en Colombia, conforme a lo establecido en la Resolución 8340 de 1993 del Ministerio de Salud. Según esta resolución, la investigación se clasifica como sin riesgo, ya que se limita al análisis de

TABLA 2

Interpretación del tamaño del efecto para la prueba t (o Wilcoxon) de muestras independientes y la de Kruskal-Wallis.

TAMAÑO DEL EFECTO*	INTERPRETACIÓN
δ	< 0,2: muy pequeño
	0,2 – 0,49: pequeño
	0,5 – 0,79: moderado
	> 0,8: grande
CBR	< 0,1: muy pequeño
	0,1 – 0,29: pequeño
	0,30 – 0,49: moderado
	> 0,8: grande
ϵ^2	< 0,01: muy pequeño
	0,01 – 0,05: pequeño
	0,06 – 0,13: moderado
	$\geq 0,14$: grande

Fuente: elaboración propia adaptada de.⁽¹⁴⁾

*Si es negativo significa que la medida está por debajo de la del grupo de referencia (según el fabricante). Para la realización de las pruebas estadísticas anteriormente mencionadas se utilizó el software de acceso libre Jamovi v. 2.3.28.

materiales inertes y no implica ninguna intervención directa o indirecta en humanos o animales.

La confidencialidad y la custodia de los datos se aseguraron mediante protocolos de seguridad que incluyen su almacenamiento en entornos controlados, accesibles únicamente al equipo de investigación. En todo momento, se implementaron medidas rigurosas para proteger la integridad de los datos y prevenir cualquier forma de manipulación, de acuerdo con las disposiciones éticas y legales establecidas en la normativa colombiana y en la E.S.E. Alejandro Próspero Reverend.

Resultados

Al inspeccionar el estado estructural de las lámparas se tuvo la sospecha de uso inadecuado o prolongado de las mismas sin reposición o mantenimiento preventivo-correctivo, por cuanto varias presentaban rayones, decoloración y desgaste de la placa de características técnicas. Además, al revisar el estado de las puntas se notó la presencia de desgaste moderado a severo, pérdida de transparencia, fisuras, entre otros problemas (Tabla 3).

El desgaste de las puntas guía de luz afecta la calidad del haz lumínico y, por ende, la eficiencia de polimerización en procedimientos de fotocurado.

Con respecto a la irradiancia de todas las lámparas, se observó que la media fue de 484 (170), 324 (113) y 268 (97,4) mW/cm² a 0, 2 y 4 mm de distancia desde la punta, respectivamente. Los resultados reflejan una disminución de la irradiancia con la distancia; más de un 30 % a 2 mm y casi un 50 % a los 4 mm (Figura 1).

En consonancia con el nivel de irradiancia a 0 mm, las lámparas de los 10 centros de salud necesitarían, como mínimo, 42 s para garantizar una polimerización adecuada en incrementos de 2 mm. En el caso de que la distancia de irradiación pase a 4 mm desde la superficie de la resina, el tiempo se extendería hasta 75 s, aproximadamente, de acuerdo con la Ec.(5).

Por otra parte, al comparar la irradiancia de las lámparas según la marca, se observó que no hubo diferencias significativas entre Woodpecker LED F, Coltoux LED, Oral Galaxy. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas al compararlas con Woodpecker LED D y Woodpecker iLED (Figura 2).

La lámpara Woodpecker LED D presentó una irradiancia significativamente mayor ($p < 0,001$) que todas las demás marcas, mientras que Woodpecker iLED mostró una irradiancia inferior ($p < 0,001$) en comparación con todas las marcas. Además, el tamaño del efecto según la marca fue grande ($\epsilon^2 = 0,38$).

Al examinar la irradiancia de las lámparas de fotocurado en cada centro de salud se encontró que en 5 (63%) de ellos (La Candelaria, ambas lámparas; Bastidas, El Parque, La Paz y Gaira) al menos en una de las distancias evaluadas no se cumplió con los niveles recomendados por el fabricante. A 0 mm, solo 3 (20%) lámparas (las dos de Almendros, la de Bonda y la de Malvinas) cumplieron (Tabla 4).

TABLA 3

Estado estructural y de funcionamiento de las lámparas de fotocurado según la inspección visual realizada.

LÁMPARA	ESTADO ESTRUCTURAL Y DE FUNCIONAMIENTO
Woodpecker LED F	Desgaste moderado en la punta guía de luz.
	Microfisuras y depósitos de adhesivos en la fibra óptica.
	Ligera pérdida de transparencia.
Woodpecker LED D	No se vieron fracturas en la carcasa
	Pequeñas fracturas en la fibra óptica.
	Leve disminución en la intensidad del haz de luz.
Oral_galaxy	Coloración opaca en algunas zonas; puede afectar la transmisión.
	Posible alteración en la uniformidad del fotocurado.
	Signos de envejecimiento avanzados en la punta guía.
Coltoux_LED	Rayaduras y desgaste en los bordes, causando dispersión de luz
	Se recomienda evaluar su reposición o mantenimiento.
	Lámpara con mayor deterioro estructural.
Woodpecker iLED	Superficie visiblemente maltratada, rayada y con pequeñas fracturas en los extremos.
	Dispersión del haz más difusa, lo que compromete la calidad del fotocurado.
	Se sospecha uso constante sin reposición adecuada de la punta guía.
Woodpecker iLED	Se recomienda su reemplazo inmediato para evitar deficiencias en los procedimientos clínicos
	Desgaste moderado, pero sin fracturas evidentes en la punta guía.
	Pequeñas irregularidades en la superficie que podrían reducir la intensidad lumínica.
	No se reportan defectos graves, pero se sugiere control periódico.

Fuente: elaboración propia.

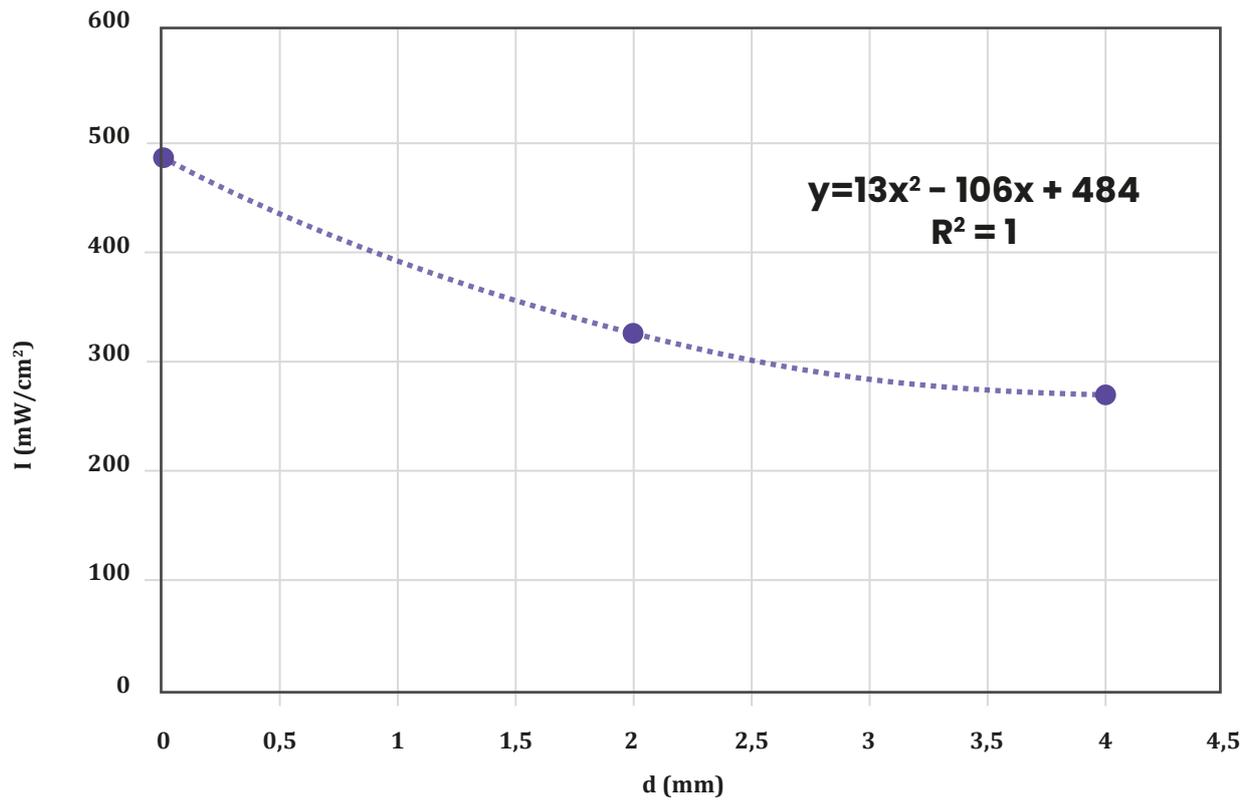


Figura 1 Relación inversa entre la media de la irradiancia de las lámparas de todos los centros de salud y la distancia fuente-superficie del diente. Se muestra además el porcentaje de caída de la irradiancia respecto a su máximo valor (a 0 mm).

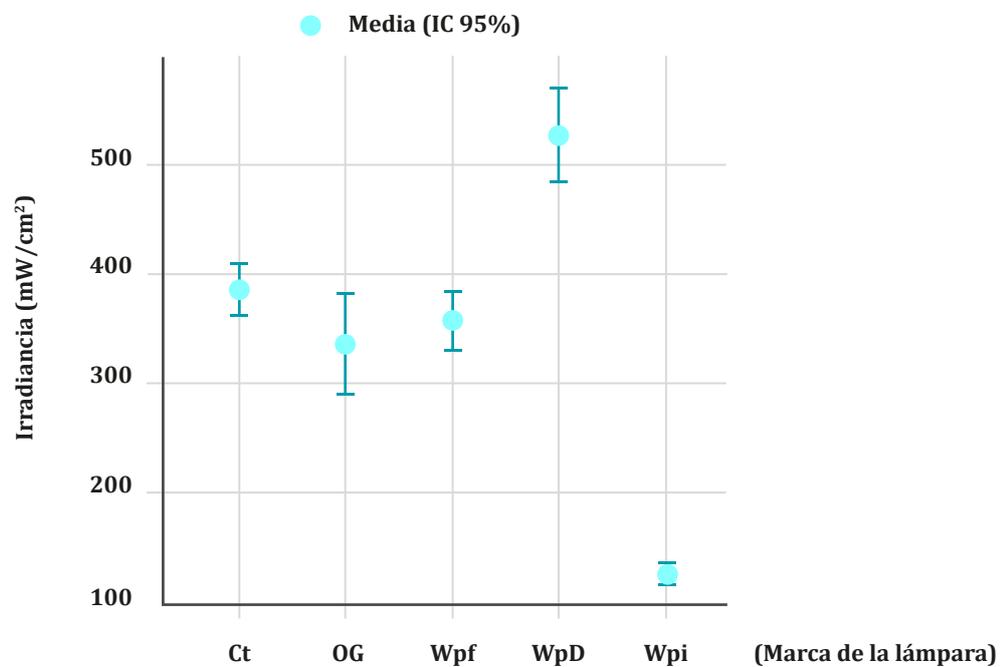


Figura 2 Comparación de la irradiancia de las lámparas de fotocurado de los centros de salud agrupadas por marca. WpF: Woodpecker LED F, Ct: Coltoux LED, OG: Oral Galaxy; WpD: Woodpecker LED D y Wpi: Woodpecker iLED.

TABLA 4

Medidas de tendencia central de la irradiancia de las diez lámparas de fotocurado de los ocho centros de salud donde se realizó el estudio y su comparación estadística con los límites de aceptación informado por el fabricante.

CENTRO DE SALUD	Distancia (mm)	IRRADIANCIA (mW/cm ²)					
		LÁMPARA 1			LÁMPARA 2		
		M/Mdξ	DE/RICξ	TE	M/Mdξ	DE/RICξ	TE
La Candelaria	0	705	40,5	-22,1***	375 ξ	0 ξ	-1**
	2	453	79,5	-14,4*	275 ξ	18,8 ξ	-1**
	4	385	39,4	-30,8**	200 ξ	0ξ	-1**
Almendros	0	670	23,0	7,4	538	25	11,3
	2	500	48,3	0,01	298 ξ	34,3 ξ	-0,1
	4	415	44,4	-1,9**	235 ξ	37,8 ξ	-1***
Bastidas	0	525 ξ	113 ξ	-1***	NA	NA	NA
	2	298	60,6	-39,6***	NA	NA	NA
	4	223 ξ	50 ξ	-1***	NA	NA	NA
El Parque	0	600 ξ	23,8 ξ	-1***	NA	NA	NA
	2	317	25	-41,1***	NA	NA	NA
	4	225	50	-29,2***	NA	NA	NA
Malvinas	0	595	28,4	10,39	NA	NA	NA
	2	410	55,5	1,98	NA	NA	NA
	4	385	47,5	1,7	NA	NA	NA
Bonda	0	438 ξ	28,8 ξ	1	NA	NA	NA
	2	334	22,0	1,5	NA	NA	NA
	4	270	28,4	-1**	NA	NA	NA
La Paz	0	300 ξ	18,8 ξ	-1***	NA	NA	NA
	2	250 ξ	0 ξ	-1***	NA	NA	NA
	4	225 ξ	18,8 ξ	-1***	NA	NA	NA
Gaira	0	150 ξ	37,5 ξ	-40,2***	NA	NA	NA
	2	120 ξ	15 ξ	-1***	NA	NA	NA
	4	110 ξ	20 ξ	-1***	NA	NA	NA

ξ: medida no paramétrica. **M**: media; **Md**: mediana; **DE**: desviación estándar; **RIC**: rango intercuartil; **TE**: tamaño del efecto. **NA**: no aplica (centro de salud con una sola lámpara). Significancia estadística (valor encontrado difiere significativamente del valor esperado del fabricante): *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001.

Solo en 1 (12,5 %) centro, Malvinas, la lámpara operó dentro del rango de aceptación para las tres distancias de irradiación. En otros 2 (25 %) centros, Almendros y Bonda, solo se incumplió el umbral de aceptación a 4mm. Los centros de salud con las lámparas que mostraron mayores desviaciones respecto al umbral de aceptación fueron, en orden, La Paz, El Parque y Gaira, en las tres distancias evaluadas.

Por otra parte, si se aplica el criterio de aceptación universal de 300 – 400 mW/cm², 9 (90 %) de las lámparas tendrían rendimiento aceptable: 7 (70 %) arriba de 300 mW/cm² y 2 de 400 mW/cm². Ahora bien, en la actualidad el nivel mínimo de irradiancia recomendado por los fabricantes de lámparas de fotocurado ha incrementado a 500 mW/cm² debido a la necesidad de reducir el tiempo de curado;⁽¹⁵⁾ bajo este paraguas solo 6 (60%) lámparas de los centros de salud tienen niveles aceptables. Adicionalmente, como lo más esperable es que en la clínica la polimerización se haga a una distancia de 2 mm, solo 1 (10 %) de las lámparas analizadas en este trabajo cumple (Centro de Salud Almendros, lámpara 1).

Discusión

En el presente estudio, se evaluó la irradiancia de las lámparas de fotocurado utilizadas en centros de salud de Santa Marta (Colombia). La caída de la irradiancia con la distancia sugiere la importancia de ubicación adecuada en el momento de la fotopolimerización así como la necesidad de reajustar la irradiancia de la lámpara de manera periódica según lo recomendado por el fabricante. No obstante, pudo notarse que esta caída no se dio con el inverso cuadrado de la distancia, como suele esperarse.⁽¹⁶⁾ Al respecto, Price et al.⁽⁵⁾ han informado que el efecto de la distancia en la irradiancia no es uniforme para todas las lámparas de fotocurado, al afirmar categóricamente que “la reducción en la irradiancia recibida no sigue la ley del inverso del cuadrado de la distancia”. Esto se debe a que estas lámparas emiten haces de luz con distintos niveles de dispersión, dependiendo del nivel de colimación de cada dispositivo. En consecuencia, recomiendan a los fabricantes que, además de reportar la irradiancia en la punta de la lámpara, incluyan valores a distancias clínicamente relevantes, desde 0 mm (punto estándar de referencia) hasta 10 mm, para una mejor orientación en su aplicación clínica.

Por otro lado, los resultados mostraron que un número significativo de lámparas (7 de 10) no cumplía con los estándares recomendados por los fabricantes. La razón para esta discrepancia puede ser que las indicaciones del fabricante están dirigidas a garantizar un curado en un tiempo corto de irradiación, en situaciones donde las capas de material restaurador pueda que estén por enci-

ma de 2 mm y a una distancia al material restaurador de 0 mm, lo que rara vez se presenta en la práctica clínica.⁽¹⁵⁾

Prado et al.⁽¹⁷⁾ en un trabajo de grado cuyo objetivo fue evaluar los niveles de irradiancia de once lámparas de fotocurado en las clínicas odontológicas de la Universidad de Nariño, Sede Armenia, encontraron una irradiancia promedio de 506,4 mW/cm² en todas las lámparas, advirtiendo que 1 lámpara no superó los 300 mW/cm² y 4 lámparas no alcanzaron los 400 mW/cm², valores que, según la literatura científica, son los umbrales de aceptación recomendados. Además, observaron que no se realizaba un monitoreo periódico de la irradiancia en dichas clínicas. Para compensar la disminución de irradiancia, los autores sugieren adicionar un tiempo de irradiación entre 10 y 20 s en comparación con las lámparas que cumplen con los estándares.

Respecto a los resultados de Prado et al.⁽¹⁷⁾ la irradiancia promedio de las lámparas del presente artículo es cercana a la allí reportada. Sin embargo, aquí se observó que 2 lámparas mostraron niveles inferiores a 300 mW/cm² y el resto, estuvo por encima de los 400 mW/cm², a 0 mm de la superficie. Una de las explicaciones para esta diferencia es que en este trabajo todas fueron lámparas LED, en cambio, dentro de las lámparas analizadas por Prado et al. cuatro eran de tungsteno de cuarzo.

Cordonero,⁽¹⁸⁾ en una investigación de carácter descriptiva sobre la irradiancia y la potencia de trece lámparas LED de la clínica odontológica de la Universidad Americana (Nicaragua) a 0, 2, 4 y 6 mm de distancia, observaron que seis lámparas no registraron valor de irradiancia (significando que su valor está por debajo de 300 mW/cm²) pero sí de potencia. El resto mostró valor por encima de 500 mW/cm² y hasta 1700 mW/cm², aproximadamente. Las lámparas con ese nivel bajo de irradiancia fueron todas la marca Coltoux. Además, la autora del trabajo notó que la irradiancia disminuía con la distancia (a 3 mm perdían el 35 % de irradiancia y a 6 mm el 50 %). Concluyeron que a mayor distancia menor valor de potencia e irradiancia y que las lámparas con menor irradiancia tenían más de 5 años de uso.

Estos resultados concuerdan con los del presente trabajo en la medida en que aquí también se demostró que la irradiancia cae con la distancia, aunque un poco más pronunciado (33 % a 2 mm y 45 % a 4 mm). Discrepan en que, en el estudio de Cordonero, la irradiancia promedio de las lámparas LED Woodpecker fue mayor a las del presente trabajo.

Lehmann et al.⁽¹⁵⁾, en una investigación cuyo objetivo fue medir la irradiancia de luz de 21 lámparas de polimerización LED Woodpecker en distintos modos de exposición (estándar, inicio suave y pulsado) y distancias de la fuente de luz a la superficie del radiómetro

(0 a 8 mm con paso de 2 mm), notaron que el promedio de irradiancia fue superior a 1000 mW/cm² en los tres modos bajando hasta 587 en el modo inicio suave. Concluyeron que el modo estándar parece ser el más eficaz cuando se pretende polimerizar cavidades profundas porque es menos afectado por la distancia y el de inicio suave se puede usar en dientes anteriores o zona cervical.

En este trabajo se usó el modo estándar que, al compararse con los resultados de Lehmann et al.⁽¹⁵⁾ claramente hay una diferencia a menos del 50 % en irradiancia. Estos autores declararon que las lámparas no estaban dañadas y en buenas condiciones de funcionamiento y que se recargaban después de 5 exposiciones. En contraste, varias de las lámparas de fotocurado en los centros de salud mostraban signos evidentes de deterioro, al punto de que la marca era casi ilegible. Aunque no se especifica, esto podría ser indicativo de que dichas lámparas han estado en uso por varios años. Teniendo en cuenta que tanto el uso prolongado (> 4 años)⁽¹⁹⁾ como las recargas extemporáneas pueden afectar su rendimiento,⁽²⁰⁾ esto podría explicar en parte la disminución de la irradiancia en comparación con los niveles informados por el fabricante.

Si se tiene en cuenta que valores superiores a 2000 mW/cm² pueden causar daños directos en la pulpa dental especialmente cuando existe restauraciones profundas,^(21,22) las lámparas de los centros de salud no presentarían este riesgo. El problema radicaría cuando se aumenta la distancia de la lámpara pues se disminuyen los valores de irradiancia. Para compensar esta disminución, el operador deberá arbitrariamente aumentar el tiempo de exposición de las unidades de fotopolimerización, no obstante, un tiempo prolongado puede generar traumatismo térmico en el complejo dentino-pulpar. Por esto, es aconsejable tener lámparas que inicien con una irradiancia óptima para disminuir el tiempo de polimerización y aumentar la productividad clínica.^(23,24) Dado que los centros de salud los odontólogos trabajan con limitación de tiempo, sería recomendable poseer lámparas que tengan mayor irradiancia.

Dado que las lámparas de fotocurado de los centros de salud no cumplen con las recomendaciones del fabricante y varias de ellas con el umbral más actualizado recomendado en la literatura científica (500 mW/cm²), es imperativo implementar medidas de control de calidad en los equipos odontológicos. Esta situación puede estar relacionada con diversos factores, como la falta de conocimiento del personal sobre la importancia de la irradiancia, la ausencia de protocolos de mantenimiento y calibración de manera periódica, así como la escasez de recursos en algunos centros de salud.^(25,26)

Otra variable para considerar es la falta de conoci-

miento sobre la relevancia de los parámetros técnicos de las lámparas de fotocurado, lo que podría influir en su mantenimiento inadecuado y en la ausencia de monitoreo regular de su rendimiento clínico. En efecto, Kopperud et al.⁽²⁵⁾ observaron que la mayoría de los encuestados (78,3%) desconocían el valor de la irradiancia de sus lámparas de polimerización, lo que hacía que el tiempo de polimerización fuera incierto y disminuya la eficacia del curado en las restauraciones. Además, se evidenció que los odontólogos no realizan un mantenimiento regular de sus lámparas de curado en comparación con todos los encuestados.

Por otro lado, es de interés destacar que las lámparas de fotocurado de los centros de salud de Bonda y Malvinas, ambas de la marca Coltoux, pese a presentar los mayores problemas estructurales, fueron las que mantuvieron niveles de irradiancia dentro de los límites esperados. Se puede hipotetizar que este resultado podría deberse a un menor uso de estos dispositivos, probablemente relacionado con el bajo flujo de pacientes en dichos centros de salud.

Algunas recomendaciones adicionales por considerar para una óptima polimerización son:

1. Profundidad de curado: para capas delgadas puede ser adecuado un nivel de irradiancia entre 300 y 400 mW/cm², para más gruesas deberá aumentarse.
2. Tipo de material restaurador: materiales restauradores más translúcidos pueden requerir menor tiempo de curado.
3. Longitud de onda del haz de radiación: comprar la lámpara de fotocurado en función del espectro de absorción de los fotoiniciadores del material restaurador.
4. Uniformidad de la irradiación: lámparas más potentes pueden garantizar una mejor distribución de la radiación en la superficie.
5. Equipos con diferentes modos de ajuste: esto permite al clínico adaptar el curado a sus necesidades específicas.
6. Equipos modernos: son equipos de alta potencia que requieren menos tiempo de curado, lo que los hace especialmente útiles en centros de salud con alta demanda. Sin embargo, deben ser utilizados con precaución para evitar daños a los tejidos del diente causados por el aumento de temperatura. Es fundamental consultar el manual de usuario o guías clínicas específicas para su manejo adecuado.

Dentro de las limitaciones del presente estudio se hallan:

- I. no haber usado un radiómetro de mayor precisión como el Bluephase Meter II de Ivoclar,⁽²⁷⁾ debido a su alto costo y poca disponibilidad comercial en el país;
- II. no haber podido disponer datos como el tiempo de uso y cantidad de mantenimientos preventivos (pese a haberse solicitado), para buscar asociación entre estas variables y una baja irradiancia y
- III. no haber inspeccionado el estado previo de la carga de las lámparas.

Conclusiones

La mayoría de las lámparas de fotocurado en los centros de salud de la ESE Alejandro Próspero Reverend de Santa Marta (Colombia) no cumplen con los niveles recomendados por los fabricantes, por lo que urge realizar correcciones las lámparas o renovarlas; en su defecto, aumentar los tiempos de irradiación como medida provisional. Sin embargo, más de la mitad de ellas parecen estar dentro de los límites de aceptación tradicionalmente sugeridos (300 – 400 mW/cm²) y de los más actuales establecidos en la literatura científica mundial (500 mW/cm²).

La irradiancia disminuyó significativamente con la distancia desde la fuente de luz, lo que resalta la importancia de la correcta ubicación de la lámpara durante la fotopolimerización. En comparación con estudios previos, los resultados de esta investigación muestran una tendencia similar en cuanto a la disminución de irradiancia, aunque algunos de los valores de irradiancia fueron inferiores a los reportados en otros trabajos. Esto sugiere la necesidad de un monitoreo constante de la irradiancia de los consultorios odontológicos, así como una educación continua para los odontólogos sobre la correcta selección, calibración y mantenimiento de las lámparas de fotocurado.

Como perspectiva se podría investigar sobre cuáles son los factores que influyen en la degradación de la irradiancia de las lámparas a lo largo del tiempo y para desarrollar protocolos de mantenimiento más eficaces. Se recomienda a los odontólogos verificar regularmente la irradiancia de sus lámparas, seguir las recomendaciones de los fabricantes y mantenerse actualizados en los avances tecnológicos del campo de la fotopolimerización.

REFERENCIAS

1. Price RB, Ferracane JL, Shortall AC. Light-Curing Units. *J Dent Res*. 2015;94(9):1179–86. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0022034515594786>
2. Rueggeberg FA. State-of-the-art: Dental photocuring—A review. *Dent Mater*. 2011;27(1):39–52. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0109564110004641>
3. Rueggeberg F, Giannini M, Arrais C, Price R. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Braz Oral Res*. 2017;31(suppl 1):64–91. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-83242017000500206&lng=en&tng=en
4. Omid B, Gosili A, Jaber-Ansari M, Mahdkhah A. Intensity output and effectiveness of light curing units in dental offices. *J Clin Exp Dent*. 2018;10(6):0–0. Available from: <http://www.medicinaoral.com/medoralfree01/aop/54756.pdf>
5. Price RB, Ferracane JL, Hickel R, Sullivan B. The light-curing unit: An essential piece of dental equipment. *Int Dent J*. 2020;70(6):407–17. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020653920337783>
6. AlShaafi MM. Factors affecting polymerization of resin-based composites: A literature review. *Saudi Dent J*. 2017;29(2):48–58. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1013905217300147>
7. Hasanain FA, Nassar HM. Utilizing Light Cure Units: A Concise Narrative Review. *Polymers (Basel)*. 2021;13(10):1596. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/10/1596>
8. Melendez D, Delgado L, Tay L. La ciencia detrás de las lámparas de polimerización led. Revisión bibliográfica. *Rev Oper Dent y Biomater*. 2021;10(3):6–18. Available from: <https://www.rodyb.com/wp-content/uploads/2021/08/2-LAMPA-RAS.pdf>
9. Price RBT. Light Curing in Dentistry. *Dent Clin North Am*. 2017;61(4):751–78. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011853217300745>
10. Alhaddad HM, Meisha DE, Al-Bukhary RA, Al-Zain AO. General Knowledge of Light-Curing Units Among Dentists in Saudi Arabia. *Dent Mater*. 2022;38:e2. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0109564121003651>
11. Avello-Martínez R. ¿Por qué reportar el tamaño del efecto? [Internet]. Grupo Comunicar. 2020 [accessed 11/02/2020]. p. 1–11. Available from: <https://www.grupocomunicar.com/wp/escuela-de-autores/por-que-reportar-el-tamano-del-efecto/#:~:text=El tamaño del efecto es,la diferencia entre dos grupos>.
12. Mackinnon SP. How an effect size can simultaneously be both small and large [Internet]. Savvy Statistics. 2023 [accessed 11/02/2024]. p. 1–8. Available from: <https://savvystatistics.com/how-an-effect-size-can-simultaneously-be-both-small-and-large/>
13. Kerby DS. The Simple Difference Formula: An Approach to Teaching Nonparametric Correlation. *Compr Psychol*. 2014;3(1):1–10. Available from: <http://cop.sagepub.com/lookup/doi/10.2466/11.IT.3.1>
14. López-Martín E, Ardura D. El tamaño del efecto en la publicación científica. *Educ XX1*. 2023;26(1):9–17. Available from: <https://revistas.uned.es/index.php/educacionXX1/article/view/36276>
15. Lehmann A, Nijakowski K, Mroczyk M, Podgórski F, Czarnecka B, Surdacka A. Influence of Exposure Distance on Light Irradiance of Dental Curing Lamps in Various Operating Modes. *Appl Sci*. 2024;14(21):9999. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/21/9999>

16. Malhotra S. Effect of curing distance for cure depth in composite resin. *Bioinformation*. 2023;19(13):1353–8. Available from: <https://www.bioinformation.net/019/973206300191353.htm>
17. Prado Muñoz EY, Alarcón Díaz LY, Barona Bolívar NA. Evaluación de irradiancia de las lámparas de fotocurado de luz LED y halógena de las clínicas odontológicas de la universidad Antonio Nariño sede Armenia [Internet]. Universidad Antonio Nariño; 2021. Available from: <https://repositorio.uan.edu.co/items/6b144107-d287-442f-8ad7-043df323e948>
18. Cordonero Espinoza MA. Potencia e irradiancia producida por las lámparas de fotoactivación utilizadas en el área clínica de grado de la Facultad de Odontología de la Universidad Americana (UAM). *Rev Odontológica Stomarium*. 2024;1(1):1–20. Available from: <https://portalderevistas.uam.edu.ni/index.php/stomarium/article/view/79>
19. Lamthong W, Yodyadthai K, Senawongse P. Output intensity of LED light curing units over a 4-year period of clinical use. *M Dent J*. 2019;39(2):91–101. Available from: <https://dt.mahidol.ac.th/wp-content/uploads/2019/09/11-Mahidol-Dental-Journal-39-2.pdf>
20. Prochnow FHO, Kunz PVM, Correr GM, Kaizer M da R, Gonzaga CC. Relationship between battery level and irradiance of light-curing units and their effects on the hardness of a bulk-fill composite resin. *Restor Dent Endod*. 2022;47(4). Available from: <https://rde.ac/DOIx.php?id=10.5395/rde.2022.47.e45>
21. Assaf C, Fahd JC, Sabbagh J. Assessing dental light-curing units' output using radiometers: A narrative review. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2020;10(1):1–8. Available from: https://journals.lww.com/10.4103/jispcd.JISPCD_407_19
22. Slack WE, Yancey EM, Lien W, Sheridan R, Phoenix R, Vandewalle K. Effect of high-irradiance light curing on exposure times and pulpal temperature of adequately polymerized composite. *Dent Mater J*. 2020;39(6):976–83. Available from: https://www.jstage.jst.go.jp/article/dmj/39/6/39_2019-236/_article
23. Rueggeberg F, Cole M, Looney S, Vickers A, Swift E. Comparison of Manufacturer-Recommended Exposure Durations with Those Determined Using Biaxial Flexure Strength and Scraped Composite Thickness Among a Variety of Light-Curing Units. *J Esthet Restor Dent*. 2009;21(1):43–61. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1708-8240.2008.00231.x>
24. Shimokawa C, Sullivan B, Turbino M, Soares C, Price R. Influence of Emission Spectrum and Irradiance on Light Curing of Resin-Based Composites. *Oper Dent*. 2017;42(5):537–47. Available from: <https://meridian.allenpress.com/operative-dentistry/article/42/5/537/107107/Influence-of-Emission-Spectrum-and-Irradiance-on>
25. Kopperud SE, Rukke H V, Kopperud HM, Bruzell EM. Light curing procedures – performance, knowledge level and safety awareness among dentists. *J Dent*. 2017;58:67–73. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300571217300301>
26. Molvig Kopperud H. Dentistry – Polymer-based restorative materials [Internet]. NIOM. 2017 [accessed 11/22/2024]. p. 1–3. Available from: <https://www.niom.no/dentistry-polymer-based-restorative-materials.6641854-606139.html>
27. Shortall AC, Hadis MA, Palin WM. On the inaccuracies of dental radiometers. Huettig F, editor. *PLoS One*. 2021;16(1):e0245830. Available from: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0245830>

Disponibilidad de datos

El conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio se encuentran publicados en el propio artículo

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran no presentar conflicto de intereses.

Fuente de financiamiento

La investigación no cuenta con fuente de financiamiento

Declaración de contribución de autoría y colaboración

NOMBRE Y APELLIDO	COLABORACIÓN ACADÉMICA													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Giorgina Patricia Noguera Vergara				X	X	X	X	X	X	X				
Midian Clara Castillo Pedraza	X			X		X	X	X		X			X	
Jorge Homero Wilches Visbal	X		X			X	X	X		X		X		X

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

Nota de aceptación:

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