

Universidad de Ciencias Médicas de La Habana. Instituto de Ciencias Básicas y Preclínicas "Victoria de Girón" Carrera de Estomatología.

Evolución histórica de las lámparas de fotopolimerización

Historical evolution of light-cure lamps (photo polymerization's lamps)

Alain Manuel Chaple Gil^I, Yadira Montenegro Ojeda^{II} y Javier Álvarez Rodríguez^{III}

^IEspecialista Primer Grado en Estomatología General Integral. Asistente. chaple@infomed.sld.cu

^{II}Especialista Primer Grado en Estomatología General Integral. Instructor. yadiramo@infomed.sld.cu

^{III}Especialista Segundo Grado en Estomatología General Integral. Investigador Agregado. Asistente. javieralvarez@infomed.sld.cu

INTRODUCCIÓN

Con el advenimiento de las resinas compuestas fotopolimerizables de partículas medianas a principio de los 70 aparecieron al unísono las lámparas de fotocurado o fotopolimerización.¹ Desde entonces no se conciben restauraciones con composite donde no estén presentes estos equipos, considerados una de los mayores adelantos para la estomatología contemporánea.^{1,2}

Inicialmente se trataba solamente de lámparas que emitían una luz de rayos ultravioleta no visibles, pero que rápidamente fueron desplazadas por los sistemas de luz azul visible que hoy conocemos.^{1, 3, 4} En la actualidad, las lámparas de fotocurado han evolucionado variando su espectro de luz, su forma ergonómica y su potencia de polimerización, en busca de una mejoría en la calidad de fotocurado de las resinas, las cuales indiscutiblemente constituyen hoy en día uno de los materiales más importantes en Estomatología, pues ofrecen adhesión y estética a la vez.⁵

Ciertos materiales logran su reacción de endurecimiento por una reacción de polimerización. Cuando esta polimerización se realiza por adición requiere energía para activar la etapa de iniciación; así se podrá completar convenientemente la reacción en un lapso no muy prolongado. La tecnología del fotocurado se basa en la fotoquímica; vale decir, en la producción de trabajo a través de la energía radiante para desencadenar una reacción química. Para que se produzca el fotocurado, es necesario que la radiación lumínica sea absorbida por el material. La absorción se

produce en función de la longitud de onda de la radiación incidente y las características de la estructura sobre la que incide.⁵⁻⁷

En la actualidad, existen diferentes tecnologías para el fotoactivado de resinas compuestas que han evolucionado con el pasar del tiempo y que se relacionan como:

- Lámparas halógenas.
- Lámparas de arco plasmático.
- Lámparas Láser.
- Lámparas LED (luz emitida por diodos).⁸

OBJETIVO

El objetivo de esta investigación es describir la evolución histórica de las lámparas de fotopolimerización desde su introducción en la Estomatología, hasta la actualidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio analítico-sintético y cronológico sobre la evolución histórica de las lámparas de fotocurado o para la fotopolimerización de resinas compuestas. Para ello, se realizó un análisis de la literatura científica y comercial existente en Internet con respecto al tema, desde 1976 hasta la actualidad. El motor de búsqueda empleado para los artículos y sitios *web* que no tienen carácter científico, fue el de Google y para los artículos científicos: Google Académico y *Medline*.

Se consultaron artículos originales en revistas científicas, pero resultaron insuficientes para la realización del trabajo, lo que llevó a la búsqueda de información en sitios y páginas *web* para culminar la investigación.

Para la comunicación asincrónica se utilizó el *software* de Zotero® para Mozilla Firefox. Con este gestor de referencias se tamizó la bibliografía recopilada para una mejor presentación y organización.

No hubo exclusiones en la selección de los documentos en relación con el idioma, autores, año de publicación y estilos empleados. Se emplearon materiales cuyos textos tuvieran relación con la evolución de las lámparas de fotopolimerización en cuanto a sus características ventajosas y desventajas, por lo que se excluyeron todos aquellos documentos que no tuvieron relación con la temática en cuestión.

RESULTADOS

Evolución histórica de las lámparas de fotopolimerización

El descubrimiento de la radiación ultravioleta está asociado a la experimentación del oscurecimiento de las sales de plata al ser expuestas a la luz solar. En 1801, el físico alemán Johann Wilhelm Ritter descubrió que los rayos invisibles situados justo detrás del extremo violeta del espectro visible eran especialmente efectivos y oscurecían el papel impregnado con cloruro de plata. Denominó a estos rayos, "rayos desoxidantes", para enfatizar su reactividad química y para distinguirlos de los "rayos calóricos" (descubiertos por William Herschel) que se encontraban al otro lado del espectro visible. Poco después se adoptó el término "rayos químicos". Estos dos términos, "rayos calóricos" y "rayos químicos" permanecieron siendo bastante populares a lo largo del siglo XIX. Finalmente, estos términos fueron dando paso a los más modernos de radiación infrarroja y ultravioleta respectivamente.⁶

Pero no fue hasta casi un siglo después, que basados en este descubrimiento, los materiales dentales sufrieron un cambio rotundo en cuanto a la forma de presentación, manipulación y propiedades. Las resinas compuestas fueron el exponente más fiel de este hecho^{1,2,6} y finalmente, en los primeros años de la década del 70, los avances en la tecnología de fotocurado dieron lugar a las primeras resinas fotopolimerizable.¹

- a) Lámpara de luz halógena *MegaLux*[®]. Nótese las hendiduras de refrigeración de la parte activa.
- b) Botón indicativo del *soft-start*.
- c) Bombillo de Xenón de una lámpara de plasma.

La luz ultravioleta fue el primer tipo de fuente lumínica utilizada en Estomatología para la fotoactivación de resinas en la década de los 70, aunque se reemplazó rápidamente por otros sistemas debido a su escasa capacidad de penetración, lentitud de fotoactivación y riesgo de dermatosis o lesión ocular ante exposiciones prolongadas. Así, pues, desde mediados de los 80 y hasta mitad de los 90, la principal fuente de iluminación utilizada fue la **lámpara halógena**, la cual sufrió una escasa evolución cualitativa durante ese período, ya que los principales esfuerzos científicos se encaminaron hacia la mejora de la polimerización mediante el desarrollo y la evolución de la composición química de los materiales fotocurables.^{5,6,8}

La luz halógena convencional consistió en un filtro de 100nm de banda que oscilaba entre los 400 y los 500nm. El espectro de luz emitido por las lámparas halógenas provocaba la reacción del fotoiniciador (camforoquinona) y cuando esta se exponía a la luz en presencia de co-iniciadores (aminas), se formaban radicales, que abrían los dobles enlaces de los monómeros de resina, y se iniciaba la polimerización. Estas lámparas producían luz blanca y para producir luz de una longitud de onda específica, esta debía ser filtrada. Como resultado, gran parte de esta radiación se desperdiciada. Este fue el problema principal de estos dispositivos, la necesidad de liberar la energía no útil producida. Por lo tanto debían disponer de sistemas de ventilación para compensar la temperatura. El desperdicio de energía en forma de calor hizo que la capacidad y durabilidad de los dispositivos se viera reducido. Otro problema que presentaban estas lámparas era que el productor de luz, el reflector y el filtro se degradan con el tiempo. Estas lámparas convierten la energía en luz en 10%, el reflector perdía sus propiedades por la pérdida de reflexión del material o por la deposición de impurezas en la superficie. El filtro se degradaba, astillándose, esto conducía a una reducción de la intensidad de luz. Algunos dispositivos contaban con radiómetros incorporados que permitió detectar estas deficiencias. Por otro lado, los beneficios son el bajo costo y gran experiencia en el campo de la estomatología.^{8,9}

Las ventajas y desventajas que tuvieron estas lámparas se resumen en Tabla 1.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las lámparas halógenas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de bajo costo. • Gran experiencia lograda en el campo de la investigación estomatológica restauradora. • Fueron los equipos pioneros del <i>soft-start</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia. • Vida útil corta de los bulbos lumínicos emisores. • Alta temperatura en funcionamiento. (requieren sistema de ventilación) • El espectro continuo debe ser reducido por sistemas de filtro. • Insuficiente desinfección de superficies por la circulación de aire requerido.

La desventaja más importante de las lámparas de polimerización halógena para uso dental, fue el enfriamiento requerido de las lámparas. Como el aire que se encontraba presente debía entrar y salir a través de las hendiduras de la cubierta, la desinfección de las piezas de agarre fue necesariamente incompleta.^{7,8} (Figura 1-a).



Figura 1.a) Lámpara de luz halógena *MegaLux*®. Nótense las hendiduras de refrigeración de la parte activa.

Al evolucionar los *composites* y las investigaciones para el empleo de estos, se pudo comprobar al final de los 80 y principios de los 90, que los mismos experimentaban una reacción de contracción en los primeros segundos de polimerización, y provocaban una microfiltración marginal y sensibilidad post-operatoria. Esto se debía a la alta exposición que sufrían las resinas desde el momento en que se aplicaba la luz.¹⁰

Inmediatamente, los fabricantes dieron respuesta a esta problemática desventaja y crearon el método *soft-start*, que como su nombre indica, automáticamente el equipo iniciaba la fotoactivación con una intensidad de luz tenue que se incrementaba paulatinamente hasta alcanzar el punto máximo de intensidad. (Figura 1-b) De esta forma los fotoactivadores de las resinas compuestas no reaccionaban tan bruscamente, disminuyendo significativamente la reacción de contracción en restauraciones con estos materiales.^{8,10}



Figura 1 b) Botón indicativo del *soft-start*.

Para 1995, se sabía ciertamente que una de las formas de reducir la reacción de contracción de las resinas compuestas era el uso del sistema incremental como

técnica rectora en las restauraciones dentales. Esta técnica tenía la desventaja de que aumentaba el tiempo de trabajo con los *composites*, por lo que llevó a los fabricantes a la invención de la **lámpara de plasma**.¹¹ También llamados en inglés, *Xenon Arc Lamps Pac*; estos dispositivos generaban un potencial eléctrico extremadamente alto entre dos electrodos de tungsteno situados en una cámara con un gas inerte (xenón) que sería ionizado y reflejado en el interior de una cámara, de tal modo que se generaba un haz de radiación concentrada de una intensidad que puede llegar a los 2400mW/cm². (Figura 1-c) Estas unidades fueron introducidas con el objetivo de acortar los tiempos de exposición y obtener polimerización a niveles más profundos. Los fabricantes de este tipo de dispositivos aseguraban que los materiales polimerizados con estas lámparas tendrían propiedades comparables a los producidos por las convencionales lámparas de luz halógena, disminuyendo significativamente los tiempos de exposición. La luz de la lámpara de arco de xenón concentraba su longitud de onda entre 460 y 480nm, similar a la longitud de onda de la energía absorbida por la canforoquinona, de modo que se pensó que esta fue más eficiente que la luz halógena convencional. El margen de espectro fue de 20nm mientras que en la luz halógena es de unos 100nm. Lo que pudo ser una ventaja en cuanto a la precisión del fotón emitido, se convirtió en una desventaja (Tabla 2), cuando se encontraban fotoiniciadores distintos a la camforoquinona (con un pico de absorción alejado de los 465nm) en la composición de los *composites*. Según los fabricantes, la profundidad de polimerización era mucho mayor sin que la adaptación marginal sufriera ningún tipo de deterioro, aunque debieron tener en cuenta multitud de variables al hacerse esta afirmación. La química de la resina, el grosor de capa y la cantidad de paredes abarcadas en la cavidad fueron factores que jugaban un papel importante cuando se polimerizaba a altas intensidades. La polimerización se producía más deprisa con lo que el estrés de polimerización fue igual mayor, y provoca una contracción elevada. Sus otras desventajas fueron el elevado costo y su poca durabilidad en el campo de la estomatología.^{7,8,11-13} (Tabla 2).

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las lámparas de plasma (xenón)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> Disminución del tiempo de fotopolimerización de los <i>composites</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Costo elevado. Baja eficiencia. Alta temperatura en funcionamiento. (requieren sistema de ventilación) Aumenta la reacción de contracción de las resinas compuestas polimerizadas. Aplicabilidad específica para los fotoactivadores canforoquinonas.



Figura 1 c) Bombillo de Xenón de una lámpara de plasma.

Aunque estas lámparas estuvieron muy poco tiempo en el mercado, investigaciones de *Millar y Nicholson*¹² demostraron que la durabilidad de las restauraciones con resinas compuestas fotopolimerizadas con lámparas halógenas convencionales fue mayor que las realizadas con lámparas de xenón.

Inventadas en 1986 por Charles W. Hull y llevadas al mercado para su comercio poco antes de entrar en el siglo XXI, surgen las **lámparas LASER**. Esta tecnología desarrolló una longitud de onda que permitía polimerizar los *composites*, pero producía una contracción de polimerización muy elevada en dichos materiales. Fue una tecnología de muy alto costo para ser utilizada en el ámbito de restauraciones dentales y aún en nuestros días continúa siendo una de las mayores desventajas.^{7,14}

La alta intensidad lograda por estos aparatos hace que se reduzca el tiempo de trabajo mejorando el factor de conversión (cantidad de monómero que se convierte en polímero), según los fabricantes. El láser de argón poseía longitudes de onda que actuaban en picos específicos en un rango de ondas de 450-514nm. Entre los distintos picos de intensidad del láser de argón destacaban el de 488 y 514nm, los picos donde la energía era más intensa. El resultado de mayor profundidad de polimerización en el láser de argón se consideró el pico de 488nm, muy cercano al pico de absorción de la canforoquinona. Estudios como el de Bouschlicher y colaboradores,¹⁴ han demostrado que mejoran las propiedades físicas de los *composites* fotopolimerizados. Esto se atribuye a la alta especificidad de la longitud de onda de las partículas de energía emitidas (longitud de onda más estrecha de unos 40nm) respecto al pico de absorción del fotoiniciador, disminuyendo de esta forma la temperatura total del proceso. Debido a la velocidad a la que se producía la polimerización, el grado de contracción aumentaba. Los estudios *in vitro* realizados hasta la fecha indican que el estrés de polimerización en la interface resina/diente es mayor para las lámparas de láser y arco de plasma comparado con la luz halógena convencional y produce mayor microfiltración en restauraciones en zonas cervicales de la corona.^{8,15, 16}

Al igual que sus predecesoras las lámparas láser tuvieron más desventajas que ventajas.

La última tecnología de equipos para el fotocurado de resinas compuestas introducido en el mercado fueron las **lámparas LED**. Las siglas en inglés significan *Light Emitting Diode* y aunque hay evidencias de que estas lámparas salieron al mercado en 1995, no fue hasta inicios del siglo XXI que se globalizó su mercadería por todo el planeta.¹⁷ Estos dispositivos generaron luz a partir de efectos mecánico-cuánticos. Son una combinación de dos semiconductores diferentes del tipo (n-estimulado y p-estimulado). Los semiconductores n-estimulados tienen un exceso de electrones mientras que los p-estimulados requieren electrones, resultando en la formación de espacios libres de electrones. Cuando estos dos tipos de semiconductores se combinan con un voltaje, los electrones del semiconductor n-estimulado se conectan con los espacios libres de electrones creados por el semiconductor p-estimulado.^{7, 8} Un haz de luz con una longitud de onda característica se formaba y emitía por la terminal LED. El color de la luz LED fue la característica más importante. Estaba determinada por la composición química de la combinación de semiconductores. Estos semiconductores estaban a su vez condicionados por su ancho de banda.^{8,9,16- 20}

La luz producida tenía una distribución espectral estrecha y esta fue la diferencia principal entre la luz producida por las LED y los otros dispositivos utilizados en la fotopolimerización de resinas compuestas. Con las LED se podían producir longitudes de onda deseadas mediante apropiadas energías de amplitud de banda. Se creó por tanto un sistema más eficiente de convertir energía eléctrica en luz. Se demostró que a intensidades inferiores a las convencionales (100mW/cm²) la profundidad de

polimerización de la resina y su factor de conversión mejoraban significativamente usando LED comparado con las lámparas de luz halógena convencionales. La calidad de la polimerización dependía del estrecho pico de absorción del sistema iniciador, y hacía del espectro de emisión un factor clave para la correcta polimerización de las resinas. La banda de absorción de la camforoquinona oscila entre 360 y 520nm y su pico máximo era de 465nm. Dentro de este rango, la emisión óptima de la luz debería estar entre 450 y 490nm. La mayoría de los fotones emitidos por la LED interaccionaban con la camforoquinona, explicando la mayor profundidad de fotocurado y el aumento del factor de conversión con respecto a las lámparas de luz halógena, aún funcionando a intensidades de 100mW/cm.² En contraste con las LED convencionales, las LED de alta intensidad usaron un semiconductor cristalino sustancialmente más largo, lo que incrementa la intensidad de luz y el área iluminada, estableciendo una disminución de 50% de reducción del tiempo de exposición. El calor producido se disipaba mediante un dispositivo de aluminio integrado. La alta conductividad de este material aseguraba una baja temperatura mantenida, durante una operación mantenida, protegiendo la longevidad de la lámpara. Cuando la luz se desconecta, el calor temporalmente almacenado se distribuye por el medio. Este mecanismo solo es posible con un almacenamiento de calor moderado, que se consigue con las LED, ya que reducen a 5% el calor producido por una lámpara de luz halógena convencional. La transmisión de luz se producía a través de un reflector cónico situado en la base de la guía de luz. Las LED no fueron compatibles con los materiales dentales que utilizan fotoiniciadores alternativos con un espectro de absorción fuera del rango 430-480nm, por lo que esta fue una de sus limitaciones. Para los materiales compatibles el tiempo de exposición se redujo en 50% al recomendado por el fabricante. Las ventajas que ofrecen este tipo de lámparas es que se trata de un dispositivo que no requiere recambios, convierten la energía en luz en 90%, no son necesarios filtros, la elevada eficiencia consigue bajas temperaturas, no requiere sistema de ventilación, un bajo consumo, presenta facilidad de lavado, un largo tiempo de vida y un sistema silencioso.^{7,18-20} (Tabla 3).

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las lámparas LED

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • La microelectrónica permitió fabricar dispositivos más pequeños. • No existió la necesidad de filtros. • Desarrollo de bajas temperaturas en mayor tiempo de uso. • Bajo consumo de energía (fue posible el funcionamiento con baterías). • La estructura puede ser desinfectada al no requerir y carecer de hendiduras de ventilación. • Larga durabilidad de los LEDs. • Sistema en funcionamiento silencioso. • Convierten la energía en luz en un 90%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a su espectro de emisión angosto solo puede polimerizar <i>composites</i> con absorción máxima entre 440 y 490nm (canforoquinonas como fotoactivadores).

Luego del surgimiento de estos últimos dispositivos mencionados, la industria del fotocurado se enfocó en el perfeccionamiento y adaptación de las lámparas LED a las necesidades más exigentes de sus consumidores. Hoy día podemos contar con lámparas LED de muy bajo costo y con las características positivas adoptadas de sus predecesoras con una gran variedad en el mercado internacional.

CONCLUSIONES

Las lámparas de fotocurado surgen atendiendo a las necesidades de nuevos materiales que requerían su empleo. Primero las halógenas, que fueron las que más tiempo se mantuvieron disponibles. Posteriormente, las lámparas de plasma y láser, las cuales sirvieron a la Estomatología moderna aproximadamente una década y finalmente surgen las lámparas LED, brindando al gremio estomatológico mundial una tecnología efectiva para los tratamientos restauradores con resinas compuestas, que se ha mantenido hasta nuestros días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anusavice KJ, Chiayi S, Rawls HR. Phillip's Science of Dental Materials. 11th Edición. St. Louis, Missouri: Saunders- Elsevier Inc.; 2013.
2. Steger E, Mannek E, Seeholzer H, Ritzkat S. tabla Test of biological activity of light from a newly developed UV-lamp for quick cure in photopolymerizationtabla . Zahnarztl Prax. 1976 Jan 16;27(2):36-7.
3. Goodis HE, White JM, Andrews J, Watanabe LG. Measurement of temperature generated by visible-light-cure lamps in an in vitro model. Dent Mater. 1989 Jul;5(4):230-4.
4. Sutalo J, Meniga A, Rukavina J, Azinović D, Pichler G. Indium light source for curing composite resins. Acta Stomatol Croat. 1991;25(2):77-82.
5. BuenasTareas.com tabla página en Internettabla . Lámparas de fotocurado. 2012. tabla Actualizado 11 de jul 2012; citado 27 jun 2015tabla . Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Lamparas-De-Fotocurado/4758649.html>
6. Gagliani M, Fadini L, Ritzmann JM. Depth of cure efficacy of high-power curing devices vs traditional halogen lamps. J Adhes Dent. 2002 Spring;4(1):41-7.
7. Saravia Rojas MA. LED: Luz Emitida por Diodos para la fotopolimerización de resinas compuestas usadas en Odontología Restauradora. tabla Internettabla OdontoNoticias; 2005 tabla Citado 27 jun 2015tabla Disponible en: <http://www.odontonoticias.com/index.asp?id=15&pg=2>
8. Rovira M. Lámparas de fotopolimerización: Estado actual. Rev Oper Dent Endod. tabla Internettabla 2006;5:tabla aprox. 5ptabla .tabla Citado 27 jun 2015tabla . Disponible en: http://www.infomed.es/rode/index.php?option=com_content&task=view&id=67&Itemid=32
9. Mirabella D, Spena R, Scognamiglio G, Luca L, Gracco A, Siciliani G. LED vs halogen light-curing of adhesive-precoated brackets. Angle Orthod. 2008 Sep;78(5):935-40.

10. Hasegawa T, Itoh K, Yukitani W, Wakumoto S, Hisamitsu H. Effects of soft-start irradiation on the depth of cure and marginal adaptation to dentin. *Oper Dent*. 2001 Jul-Aug;26(4):389-95.
11. Louca C, Millar BJ. The curing of composite resin using a plasma curing light. *Journal of Dental Research*. 1999;78:204.
12. Millar BJ, Nicholson JW. Effect of curing with a plasma light on the properties of polymerizable dental restorative materials. *J Oral Rehabil*. 2001 Jun;28(6):549-52.
13. Hasegawa T, Itoh K, Yukitani W, Wakumoto S, Hisamitsu H. Depth of cure and marginal adaptation to dentin of xenon lamp polymerized resin composites. *Oper Dent*. 2001 Nov-Dec;26(6):585-90.
14. Bouschlicher MR, Vargas MA, Boyer DB. Effect of composite type, light intensity, configuration factor and laser polymerization on polymerization contraction forces. *Am J Dentistry*. 1997;10(2):88-96.
15. Brackett WW, DA Corey, St Germain Jr HA. One-year clinical performance of a self-etching adhesive in class V resin composites cured by two methods. *Operat Dentistry*. 2002;27:218-22.
16. Leonard DL, Charlton DG, Roberts HW, Cohen ME. Polymerization efficiency of LED curing lights. *J Esthet Restor Dent*. 2002;14(5):286-95.
17. La Torre G, Marigo L, Pascarella GA, Rumi G. Light-emitting diodes (LED) technology applied to the photopolymerization of resin composites. *Minerva Stomatol*. 2003 May;52(5):193-200.
18. Yap AU, Soh MS. Curing efficacy of a new generation high-power LED lamp. *Oper Dent*. 2005 Nov-Dec;30(6):758-63.
19. Moreira Fdo C, Antoniosi Filho NR, Souza JB, Lopes LG. Sorption, solubility and residual monomers of a dental adhesive cured by different light-curing units. *Braz Dent J*. 2010;21(5):432-8.
20. Bhalla M, Patel D, Shashikiran ND, Mallikarjuna RM, Nalawade TM, Reddy HK. Effect of light-emitting diode and halogen light curing on the micro-hardness of dental composite and resin-modified glass ionomer cement: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2012 Jul-Sep;30(3):201-5.

Recibido: 23 de julio de 2015.

Aprobado: 25 de noviembre de 2015.