



REVISIÓN

Cicatrices de quemaduras y la utilidad de la terapia láser en su manejo

Burn scars and the utility of laser therapy in their management

Rodrigo Flores^a, Fernando Valenzuela^{a,b}

^a Dermatología, Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

^b Dermatología, Policlínico de Secuelas. Centro de Rehabilitación de la Corporación de Ayuda al Niño Quemado (COANIQUEM). Santiago, Chile.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del Artículo:

Recibido: 24 11 2022
Aceptado: 01 03 2023

Key words:

Laser Ablation; Scars; Burns.

Palabras clave:

Láser Ablativo; Cicatrices; Quemaduras.

RESUMEN

Las cicatrices hipertróficas son una complicación conocida que afecta entre el 32 y el 94% de los sobrevivientes de quemaduras. Se caracterizan por vascularización alterada, discromía, cambios estructurales, aumento de la tensión y anomalías en piel sana perilesional. Esto genera dolor, prurito, contracturas debilitantes, desfiguración y estigmatización, con el consiguiente deterioro funcional y psicosocial, reduciendo así profundamente la calidad de vida de los afectados y asociándose a importantes costos para los sistemas de salud. Los avances en terapia láser, especialmente la introducción de láseres ablativos fraccionados, ha permitido incluso reemplazar la cirugía en algunos casos, o ser utilizada antes para suavizar cicatrices y así, potencialmente, mejorar los resultados quirúrgicos y cosméticos. Los láseres ablativos fraccionados CO₂, por sí solos, pueden producir mejoría clínica de cicatrices al destruir de forma más específica componentes dérmicos y permitir la remodelación de la cicatriz, mejorando el prurito, dolor y flexibilidad. Incluso, como monoterapia, mejoran en forma estadísticamente significativa la puntuación en los resultados en escalas de evaluación de cicatrices, como Vancouver Scar Scale y Patient and Observer Scar Assessment. Esta revisión bibliográfica busca entregar una visión actualizada del manejo de cicatrices de quemaduras, destacando la utilidad y beneficios de la terapia láser, particularmente profundizando en los atributos del láser ablativo fraccionado CO₂ como herramienta terapéutica en constante desarrollo y con evidencia creciente que avala su recomendación.

ABSTRACT

Hypertrophic scars are a well-known complication affecting between 32 and 94% of burn survivors. They are characterized by altered vascularization, dyschromia, structural changes, increased tension, and abnormalities in healthy perilesional skin. These alterations generate pain, itching, debilitating contractures and disfigurement, with the consequent functional and psychosocial deterioration that, in addition to stigmatization, can profoundly reduce the quality of life of those affected. Consideration must also be given

✉ Autor para correspondencia

Correo electrónico: ra_flores@yahoo.com

<https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2023.03.002>

e-ISSN: 2531-0186/ ISSN: 0716-8640/© 2023 Revista Médica Clínica Las Condes.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



to the significant costs created for our health systems. Advances in laser therapy, especially the introduction of fractional ablative lasers, could even replace surgery in some cases, or be used prior to surgery to soften scars and thus potentially improve surgical and cosmetic outcomes. CO₂ fractional ablative lasers, by themselves, can produce a clinical improvement in scars, by specifically destroying dermal components allowing scar remodeling and improving itching, pain, and flexibility. Even as monotherapy, statistically significant improvement in scar evaluation scales, such as Vancouver Scar Scale and Patient and Observer Scar Assessment, can be seen. This literature review aims to provide an updated view of the management of burn scars, highlighting the usefulness and benefits of laser therapy, particularly delving into CO₂ fractional ablative lasers, as therapeutic tools in constant development and with growing scientific evidence supporting their recommendations.

INTRODUCCIÓN

Las quemaduras son el cuarto tipo de traumatismo más frecuente a nivel mundial, después de accidentes de tráfico, caídas y violencia interpersonal. Son producidas por acción de diversos agentes físicos (llamas, líquidos u objetos calientes, radiación, corriente eléctrica, frío), químicos (cáusticos) o biológicos y han sido causa de más de 8.991.000 lesiones y cerca de 120.632 muertes anuales a nivel global según un estudio epidemiológico publicado por James et al.¹.

Las fuentes térmicas secas como fuego o llamas y las húmedas como las escaldaduras, representan aproximadamente el 80% de los casos, tanto en adultos como en niños^{2,3}.

Las cicatrices hipertróficas (CHT) son las complicaciones más conocidas y afectan entre el 32 y 94% de los sobrevivientes de quemaduras. Se caracterizan por vascularización alterada, discromía, cambios estructurales, tirantez, anormalidades en piel sana perilesional, dolor, prurito, contracturas debilitantes y desfiguración, con la consiguiente estigmatización, deterioro funcional, psicosocial y de calidad de vida (CdV), asociándose a importantes costos para los sistemas de salud⁴. El enfoque holístico en las cicatrices de quemaduras (CQ) involucra una variedad de intervenciones para mejorar apariencia, síntomas asociados y alteraciones funcionales, pero con eficacia variable y a menudo decepcionante. La cirugía sigue siendo importante en el manejo de contracturas, al liberar tensión y aumentar rango de movilidad; sin embargo, se ha asociado a altas tasas de recurrencia y el beneficio, a menudo, se limita al sitio quirúrgico⁵.

Los avances en terapias con láser, (del acrónimo inglés de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) especialmente la introducción del láser ablativo fraccionado (LAF), podrían reemplazar la cirugía en algunos casos, o ser utilizados antes de esta para suavizar cicatrices y así, potencialmente, mejorar resultados quirúrgicos y cosméticos. El LAF CO₂, por sí solo, produce mejoría clínica en cicatrices, al destruir de forma más específica componentes dérmicos y permitir la remodelación tisular, mejorando el prurito, dolor y flexibilidad⁶.

El enfoque terapéutico propuesto en la literatura debe guiarse por las características de la cicatriz (ubicación anatómica, tipo de lesión, color, grosor, tensión, tiempo de evolución y actividad) e implica elegir el dispositivo láser apropiado y determinar el beneficio de la terapia combinada (quirúrgica y no quirúrgica), para optimizar resultado⁷.

EPIDEMIOLOGÍA

En EE.UU., la prevalencia de quemaduras tiene una distribución bimodal, los niños pequeños (especialmente lactantes mayores) representan el 24% de los casos y las personas de 20 a 59 años, un 55%⁸. En Chile, si bien la información epidemiológica no es muy reciente; el Ministerio de Salud en el 2007 registró 6.435 egresos hospitalarios y 569 muertes por quemaduras, principalmente en hombres mayores de 65 años, cerca de 3 veces más que en mujeres. El agente causante más frecuente correspondió al fuego (73%), seguido por escaldaduras (18%) y electricidad (8%), generando una pérdida de 7.891 años de vida ajustados por discapacidad³. En la población pediátrica, 1 de cada 7 niños/jóvenes ha presentado alguna quemadura entre el nacimiento y los 20 años de vida, con una incidencia de 2,02% (IC95%: 1,63-2,61%) y una prevalencia de 13,5% (IC95%: 11,88-15,31%), siendo 1,16 veces mayor en varones. Los principales agentes responsables son objetos (42,4%) y líquidos calientes (41,5%); 84,1% ocurren dentro del hogar, principalmente a media tarde (50,7%) y en el 93,3% de los casos, en presencia de un adulto. Aproximadamente, 95% de las quemaduras son accidentales; un 2% están relacionados con abuso físico y 1% son autoinfligidas⁹.

La mayoría de las lesiones son pequeñas, un 67% abarca menos del 10% de la superficie corporal total; siendo la mano, la localización más afectada (46,7%)^{9,10}.

Los daños físicos generados representan la tercera causa de hospitalización y muerte por trauma en niños chilenos, provocando además enorme sufrimiento al paciente y su familia, cuantiosos gastos en rehabilitación, sumado a daños emocionales, sociales, de crecimiento y desarrollo, como también de secuelas estéticas que los acompañarán toda la vida^{3,11}.

EVALUACIÓN DE LA CICATRIZ

A pesar de todos los esfuerzos para prevenir secuelas, las quemaduras que alcanzan la dermis dejarán cicatrices por depósito lineal de colágeno, generando CHT no flexibles, que pican y duelen, pero se mantiene dentro de los límites de la herida original, madurando en el curso de aproximadamente 2 años. Los queloides, también pueden ser secuelas de quemadura, caracterizándose por la persistencia de la fase proliferativa de cicatrización, determinando que crezca más allá del borde de la herida inicial¹².

Se han desarrollado diferentes sistemas de evaluación subjetiva y objetiva de la CQ, tanto en clínica como en investigación, generalmente basados en fotografías, clinimetría, percepción del paciente respecto a la calidad de su cicatriz, eficacia de terapias e impacto en CdV¹³.

Las escalas de evaluación subjetivas evalúan características de las cicatrices como color, vascularidad, extensión, grosor, flexi-

bilidad, textura, pigmentación, dolor y picazón. Son ejemplos de ellas, la escala de cicatrices de Seattle (SSS, del inglés *Seattle Scar Scale*) que compara altura, superficie, color y grosor mediante fotografías; la escala de cicatrices de Vancouver (VSS, del inglés *The Vancouver Scar Scale*) (Tabla 1), que evalúa pigmentación, plegabilidad, altura y vascularización, y la escala de evaluación de cicatrices por el paciente y el observador (POSAS, del inglés *Patient and Observer Scar Assessment Scale*) (Tablas 2 y 3)¹⁴. Esta última, incluye la percepción del dolor y picazón por parte del paciente, síntomas que ocurren en más del 90% de los casos, persistiendo en el 40% de los sobrevivientes¹⁵. La escala visual análoga (VAS, del inglés *Visual Analog Scale*) y la escala de picazón 5-D, permiten al paciente describir y cuantificar el prurito, con *The Itch Man Scale* como equivalente en población pediátrica^{13,16,17}. A su vez, varios dispositivos no invasivos se pueden utilizar para evaluar color (colorímetros, espectrofotómetros), perfusión (láser Doppler color), plegabilidad (pneumatómetros), elasticidad (cutómetros) y espesor (ultrasonido) de la CQ¹⁶.

Tabla 1. Escala Vancouver de Cicatrices*

Características cosméticas de la cicatriz	Puntaje
A. Pigmentación	0 = Normal ^(a) 1 = Hipopigmentada 2 = Mixta 3 = Hiperpigmentada
B. Vascularidad	0 = Normal ^(a) 1 = Rosada 2 = Roja 3 = Púrpura
C. Plegabilidad	0 = Normal 1 = Suave (Flexible con mínima resistencia) 2 = Cedente (Cede a la presión) 3 = Firme (Inflexible, no se mueve con facilidad, resistente a la presión manual) 4 = Cordón ^(b) 5 = Contractura ^(c)
D. Altura	0 = Normal 1 = <1 mm 2 = >1 a <2 mm 3 = >2 a <4 mm 4 = >4 mm
Puntaje Total	0 - 15

(a) Color que se asemeja mucho al resto del cuerpo

(b) Cordón: Tejido tipo sogá que se blanquea al extender la herida

(c) Contractura: Acortamiento permanente de la herida que produce deformidad o distorsión

*Traducido de Baryza et al.¹⁴

Tabla 2. Escala POSAS para el Paciente

	1 = No, para nada 10 = Sí, mucho									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
¿Le ha dolido la cicatriz en las últimas semanas?										
¿Le ha estado picando la cicatriz en las últimas semanas?										
	1 = No, como la piel normal 10 = Sí, muy diferente									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
¿Tiene la cicatriz un color diferente al de su piel normal en este momento?										
¿Tiene la cicatriz una rigidez diferente a la de su piel normal en este momento (es decir, no es igual de rígida)?										
¿Tiene la cicatriz un grosor diferente al de su piel normal en este momento (es decir, no es igual de gruesa)?										
¿Es la cicatriz más irregular que su piel normal en este momento?										
	1 = Como la piel normal 10 = Muy diferente									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
¿Cuál es su opinión general sobre la cicatriz comparada con la piel normal?										

Tabla 3. Escala POSAS para el Observador*

	1 = Piel normal 10= La peor cicatriz imaginable												
Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Categoría		
Vascularización											Pálida	Rosada	Roja
Pigmentación											Hipo	Hiper	Mixta
Grosor											Más gruesa		Más delgada
Relieve											Más	Menos	Mixto
Elasticidad											Flexible	Rígida	Mixta
Superficie											Expansión	Contracción	Mixta
Opinión Gral.													

Notas explicativas sobre los parámetros:

- Vascularización: presencia de vasos sanguíneos en el tejido cicatrizado, que se evalúa según la cantidad de enrojecimiento que ocurre por la cantidad de sangre que regresa después de presionar con una pieza de Plexiglass.
- Pigmentación: coloración café o marrón de la cicatriz debido a un pigmento (la melanina). La pieza de Plexiglass se presiona con fuerza moderada contra la piel para eliminar el efecto de la vascularización.
- Grosor: distancia media entre el borde subcuticular-dérmico y la superficie epidérmica de la cicatriz.
- Relieve: magnitud de las irregularidades superficiales presentes (de preferencia en comparación con la piel normal adyacente).
- Elasticidad: flexibilidad de la cicatriz probada al arrugar la cicatriz entre el pulgar y el índice.
- Superficie: área de la cicatriz con relación al área original de la herida.

*Modificada y traducida de Baryza et al.¹⁴.

ALTERNATIVAS DE MANEJO

Existen variadas opciones, desde abordajes conservadores a intervenciones quirúrgicas altamente complejas individualizadas para cada paciente, cuyo principal objetivo es la mejoría estética y funcional de la CQ¹⁸. Los tratamientos conservadores incluyen fisioterapia, masoterapia, presoterapia, geles de silicona, inyecciones de corticoides, ultrasonido o combinación de terapias. Si bien, no hay consenso en la efectividad de varias de estas modalidades, una revisión sistemática reciente concluyó que presoterapia y siliconas, tienen evidencia para el manejo de CHT post-quemaduras al producir una mejora clínicamente relevante del grosor, enrojecimiento y flexibilidad¹⁹. Con frecuencia, es necesaria la combinación de estos tratamientos con intervenciones quirúrgicas (resección de cicatrices, incisiones transversales, Z-plastias, colgajos o injertos cutáneos) que requieren planificación y selección de procedimientos caso a caso, que si bien pueden ser muy eficaces, se asocian a una elevada morbilidad²⁰.

LÁSER Y CICATRICES DE QUEMADURAS

Generalidades

Los avances en la terapia con láser (TL) en los últimos 30 años, han llevado al desarrollo de tratamientos menos invasivos en muchas patologías dermatológicas. Los láseres que se dirigen a cromóforos principales de la piel han demostrado utilidad en el manejo de cicatrices traumáticas y contracturas, siendo considerados en la actualidad primera línea de manejo según guías, consensos y recomendaciones internacionales²¹⁻²³. Estos dispositivos se componen de una fuente de energía, una cámara resonante y un medio activo; este último determina la longitud de onda producida y, generalmente, le da nombre al láser (Figura 1). Los láseres cutáneos tienen diferentes aplicaciones clínicas según sus longitudes de onda y duraciones de pulso específicas. Para aplicaciones médicas, el medio activo puede ser un gas (p. ej., CO₂, argón); materiales cristalinos sólidos (p. ej., zafiro, rubí), dopados, es decir, tienen átomos impuros que permiten la formación de agujeros en su interior con iones que transportan corriente eléctrica a través de éstos cristales

(p. ej., neodimio, cromo, erbio); materiales semiconductores (p. ej., láser de diodo); y soluciones de colorante líquido (p. ej., láser de colorante pulsado o PDL, del inglés *Pulse Dye Laser*)^{24,25}.

El concepto general del funcionamiento de las TL se sustenta en interacciones láser-tejido, con tres tipos diferentes de efecto: fototérmico, fotoquímico y fotomecánico. El objetivo de la TL dermatológica es producir fototermia, esto es calor y energía directa ejercida sobre un cromóforo objetivo específico en la dermis, fundamentalmente la melanina, hemoglobina o agua intra y/o extracelular, limitando el daño a tejidos o estructuras adyacentes²⁶.

Los tipos de láser pueden dividirse en ablativos y no ablativos, dependiendo de si perforan o no la epidermis, respectivamente, y en fraccionados o no fraccionados, si la ablación de la piel se produce en cuadrículas de minúsculas columnas, denominadas zonas de tratamiento microscópico (MTZ, del inglés *Microscopic Treatment Zones*)^{5,22} (Tabla 4).

Utilidad del láser desde la fisiopatología

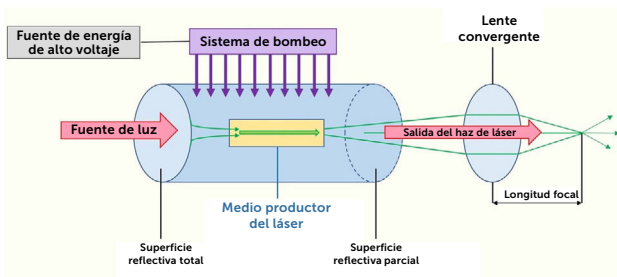
La cicatrización anormal se produce por una pérdida de control de mecanismos que regulan el equilibrio entre reparación y regeneración tisular, generando exceso de producción de colágeno y proliferación de fibroblastos.

La fototermólisis que producen los láseres ablativos no fraccionados (LANF), calienta la dermis entre 50 y 70°C, induciendo coagulación del colágeno. Por su parte, los LAF calientan aún más la dermis hasta alcanzar 100°C, provocando vaporización y coagulación térmica del tejido que rodea las MTZ. Estas lesiones térmicas fraccionadas, ablativas y no ablativas, inducen destrucción tisular controlada y activación de una respuesta inflamatoria local en las CHT.

La interrupción de la microvasculatura priva al tejido de oxígeno, limita la proliferación celular y el depósito de proteínas, atenuando la formación de cicatrices y mejorando la calidad del tejido sano perilesional, al estimular la síntesis y reorganización de fibras de colágeno nuevo similar al del tejido sano perilesional²⁵. Además, se estimula la generación de vasos sanguíneos de neoformación y una epidermis que parece más papilar. Sin embargo, ocurre la pérdida casi total de estructuras anexiales como glándulas ecrinas, apocrinas y sebáceas, y unidades foliculares²¹.

Las moléculas inflamatorias inducidas por láseres más estudiadas son las proteínas de choque térmico (HSP, del inglés *Heat Shock Proteins*), metaloproteinasas de la matriz (MMP, del inglés *matrix metalloproteinases*) y factor de crecimiento transformante β (TGF- β , del inglés *Transforming Growth Factor β*). Estas moléculas son producidas en respuesta al estrés celular frente a injurias (calor, frío, radiación UV, trauma químico y físico) sobre la piel. Las HSP están involucradas en la protección frente a daño por estrés y reparación celular, aumentan la expresión de TGF- β que, posteriormente, in-

Figura 1. Esquema de funcionamiento general de los láseres



Modificado de Nouri et al²⁴ y Kuehlmann et al.²⁵

Tabla 4. Características principales de los dispositivos láser

Tipo de Láser	Vascular	Grosor, Flexibilidad, Rugosidad		Pigmento
	PDL (<i>Pulsed Dye Laser</i>)	LAF (láser ablativo fraccionado)	LANF (láser ablativo no fraccionado)	
Características Generales	No Ablativo Longitud de onda: 585-595 nm	CO ₂ 10.600 nm Er:YAG ^(a) 2.940 nm	Er:glass de 1.540-1.550 nm	Láser Rubí 694 nm Láser Alexandrita 755 nm pulso corto Nd:YAG ^(b) 1.064 nm KTP ^(c) 523 nm en modalidad <i>Q-switched</i> (nano o picosegundos)
Parámetros	Fluencias bajas: 4 - 8 J/cm ² Diámetro del haz de láser (<i>spot</i>): 7-10 mm Duración de pulsos cortas: 0,5-2 ms Objetivo: producir un púrpura leve	Variables según cicatriz y fototipo Potencias: 15 a 30 W Densidades 5-15% Cicatrices hipertróficas: - Energías altas para alcanzar mayor profundidad Densidades bajas: disminuye el daño térmico colateral		Fluencias bajas 1 - 3 J/cm ² Pulsos de nano o picosegundos <i>spot</i> 3 - 5 mm
Cromóforo	Oxihemoglobina	Agua	Agua	Melanina y pigmentos (destruyen melanosomas de queratinocitos y melanocitos)
Principio de acción	fototermólisis selectiva de vasos sanguíneos (coagulación y necrosis)	Columnas de daño térmico en la epidermis y dermis, con una profundidad variable entre 0,2 a 4 mm	Genera columnas de coagulación por daño térmico en la dermis, pero a menor temperatura (50-70°C) y profundidad (1,8 mm) que los LFA y sin ablación de la epidermis, ventaja: menor tiempo de recuperación Desventaja: menor efectividad y mayor número de sesiones	Pigmento en epidermis: 1. Los láseres <i>Q-switched</i> o láseres de pulso largo coagulan y forman costras en la epidermis, aceleran la renovación, regeneran nuevas capas epidérmicas y expulsan las costras de la epidermis 2. el pigmento se puede eliminar mediante la ablación del tejido de la piel con láseres ablativos como el láser de CO ₂ Pigmento en dermis (tatuajes): 1. El disparo del láser <i>Q-switched</i> rompe fibroblastos que contienen la tinta del tatuaje 2. Eliminación de la tinta que llega a epidermis por recambio epidérmico (disparos de muy alta energía) 3. Fagocitosis por macrófagos de tinta liberada de fibroblastos, se elimina por vía linfática 4. El área tratada por LAF (MTZ ^(d)) genera necrosis y detritos celulares, que incluyen melanina y pigmentos contenidos dentro de queratinocitos epidérmicos y fibroblastos de la dermis
Utilidad	↓Eritema: Corrige eritema de las cicatrices por exceso de neovascularización ↓ Hipertrofia: genera hipoxia tisular que destruye de colágeno ↓ Prurito: la hipoxia y el calentamiento local produce un cambio en las citoquinas, neuropéptidos e histamina Mejor en fototipo I a III	Genera remodelación del colágeno, mejorando grosor, flexibilidad y color. Tiene mayor afinidad por el agua, genera más coagulación térmica en el tejido periférico, y por ende mayor coagulación de los vasos		
Nº de tratamientos recomendados	4 sesiones (1 sesión cada 6 a 8 semanas)	3 a 5 sesiones separadas por 4 a 12 semanas		Seguimiento cada 4 a 6 semanas

(a) Er:YAG, Láser de Itrio-Aluminio-granate dopado con erbio

(b) Nd:YAG, Láser de Itrio-Aluminio-granate dopado con neodimio

(c) KTP, Láser de cristal de titanato de fosfato de potasio

(d) Zonas de tratamiento microscópico (MTZ, del inglés *Microscopic Treatment Zones*)

duce la quimiotaxis de fibroblastos, responsables finales de la síntesis de procolágeno y el arreglo y alineamiento de fibras de colágeno tipo III dentro del tejido cicatricial, similar a lo que ocurre en el tejido sano perilesional^{26,27}. Las MMP, son factores claves durante la remodelación, al promover la escisión del colágeno tipo I fibrilar. De esta manera HSP, TGF- β s y MMP interactúan para modelar la matriz dérmica en la CQ^{27,28}.

Utilidad del láser desde la clínica

Las quemaduras de cierta envergadura tienden a formar CHT debido a la naturaleza inflamatoria de la herida y al curso prolongado de curación de estas. Sumado, las heridas, injertos y el mismo tejido cicatricial, pueden contraerse, generando mayor tensión, anomalías del contorno y contracturas de la cicatriz. La alteración del color derivan de dos componentes principales: la melanina (tonos marrones), que resulta en hipopigmentación y/o hiperpigmentación, dependiendo de la supervivencia de los melanocitos epidérmicos durante la cicatrización o terapéutica, y la oxihemoglobina (tonos rojos, eritema) que se genera al proliferar microvasos dilatados⁵. Existe evidencia actual consistente para considerar la TL como tratamiento de primera línea en el manejo de cicatrices postraumáticas y quirúrgicas; aunque en CQ aún faltan estudios sistemáticos sobre su efectividad y utilidad^{7,29}.

Una revisión sistemática reciente de la base de datos Cochrane, que incluye 15 estudios doble ciego aleatorizados, pretendió evaluar los efectos de las TL en el tratamiento de CHT y queloides. Compararon diversos dispositivos láser (PDL 585 nm, LFNA, LAF CO₂, Nd:YAG, entre otros) versus ningún tratamiento u otros tipos de tratamientos (inyecciones intralesionales de corticoides y/o 5-fluorouracilo o presoterapia con láminas de silicona). Obtuvieron resultados contradictorios, explicados, en su mayor parte, por la heterogeneidad de estudios, problemas de diseño y pequeño tamaño muestral, estableciendo que la evidencia actual disponible es insuficiente para apoyar o refutar la efectividad de la TL en CHT y queloides^{30,31}.

Estudios clínicos prospectivos y reportes de casos muestran que el PDL reduce la formación de CHT al destruir pequeños vasos sanguíneos por fototermólisis y anoxia celular secundaria, disminuyendo la angiogénesis y el eritema, mejorando la flexibilidad en cicatrices inmaduras al estimular la colagenólisis y liberación de citoquinas antiinflamatorias. Debido a que el PDL tiene una penetración limitada, es menos efectivo en CHT más gruesas (>1,0 cm), particularmente si hay tensión. Aliviar la tirantez con procedimientos quirúrgicos mínimamente invasivos puede facilitar su eficacia, eliminando muchas veces la necesidad de escisión de la cicatriz⁵.

Sabiendo que las CQ frecuentemente presentan alteraciones en grosor, textura, además de eritema y pigmentación, la combinación de varios dispositivos láseres permite un tratamiento más completo y específico. El PDL funciona mejor para reducir vascularización, eritema, sensibilidad y prurito, en especial en cicatrices inmaduras más recientes. A su vez, el LAF CO₂ ayuda a aumentar la flexibilidad de la dermis, mejorando textura, reduciendo grosor y favoreciendo rehabilitación de cicatrices maduras más antiguas³¹. Alternativamente, frente a cambios de pigmentación o hipertrichosis, pueden asociarse láseres cuyo cromóforo sea la melanina, como por ejemplo el láser Alexandrita de 755 nm o Nd:YAG 1.064 nm³² (Tabla 5).

Láser CO₂ en cicatrices de quemadura

El láser de CO₂ fue desarrollado por primera vez en 1964 por Patel et al. siendo rápidamente reconocido como láser quirúrgico ideal debido a su alta absorción por el agua. Como la piel contiene un porcentaje de agua muy alto, este láser permite una ablación precisa y segura con buena hemostasia⁵. Con la adición del fraccionamiento en microhaces, el LAF CO₂ está emergiendo como alternativa terapéutica en el manejo de las CHT post-quemaduras³³. Tiene la capacidad de mejorar varios aspectos de la CQ, en particular al citorreducir de forma organizada el tejido cicatricial y restaurar de forma más fisiológica la arquitectura del colágeno. La eficacia de estas técnicas está respaldada en la literatura por

Tabla 5. Recomendaciones de uso de dispositivos láser según características clínicas de las cicatrices

Característica de la cicatriz	Dispositivos Láser disponibles	
	De preferencia	Efecto moderado
Eritema	Láseres fraccionados ablativos -CO ₂ 10.600 nm, fraccionado -Er:YAG 2.940 nm, varias modalidades Nd:YAG 1.064 nm pulso largo	PDL 585-595 nm IPL 500-1.200 nm KTP 532 nm pulso largo
Pigmentación	Láseres fraccionados ablativos -CO ₂ 10.600 nm, fraccionado Nd:YAG 1.064 nm Q-switched	Láseres fraccionados no ablativos Alexandrita 755 nm Q-switched Rubí 694 nm Q-switched KTP 532 nm Q-switched
Engrosamiento	CO ₂ 10.600 nm, fraccionado Er:YAG 2.940, varias modalidades	Láseres fraccionados no ablativos Er:glass 1.540-1.550 nm PDL 585 nm
Rigidez	CO ₂ 10.600 nm, fraccionado	PDL 585 nm Er:YAG 2.940, varias modalidades

una disminución significativa en los puntajes de evaluación VSS y POSAS, además de disminución del espesor medido por ultrasonido²⁹ y una mejoría general en la CdV, que es probablemente el aspecto más relevante en sobrevivientes de quemaduras⁵. Una revisión sistemática del 2017, realizado por Willows et al. analizó 51 estudios observacionales, ensayos clínicos y revisiones sistemáticas publicadas sobre las TL en las CQ, concluyendo que, si bien faltan estudios prospectivos grandes, el LAF mostró potencial estadísticamente significativo para liberación de contracturas sin necesidad de intervención quirúrgica³⁴.

El 2019, un metaanálisis de Zhang et al., demostró que 1 a 4 sesiones de LAF CO₂ en las CQ, permitieron mejorar significativamente las evaluaciones VSS (diferencia media [DM] de -3,01 [IC95% -3,79, -2,22]; p<0,00001), POSAS-Paciente (DM -14,38 [IC95% -17,62, -11,13]; p<0,00001), POSAS-Observador (DM -8,81 [IC95% -11,60, -6,02]; p<0,00001) y puntuación SAS (del inglés *Scar Assessment Scale*), con una DM 1,64 [IC95% 0,49, 2,78]; p=0,005, especialmente respecto a la pigmentación, vascularización, flexibilidad y altura de la cicatriz. Aunque, el grosor de la cicatriz medido con ecografía no disminuyó de forma significativa (DM -0,48 [IC95% -1,04; 0,09]; p=0,1), así como tampoco cambió la firmeza ni elasticidad medidas por cutómetro³⁵.

El grupo dirigido por Peng el 2021, realizó un metaanálisis para evaluar eficacia y seguridad del LAF CO₂ en CQ. Analizaron 20 estudios, observando mejoras significativas en la apariencia y morfología de las CQ evaluadas por VSS y POSAS. Además, pudieron demostrar que el grosor de las cicatrices evaluadas por ultrasonido, si disminuyó significativamente. Si bien, reconocen que los efectos secundarios y complicaciones inducidos por este tipo de láseres fueron leves y tolerables, la infección e hiperpigmentación, pueden afectar la eficacia del tratamiento²⁹.

Un estudio controlado, aleatorizado y prospectivo de Douglas et al. del 2019, investigó el efecto del LAF CO₂ sobre la apariencia y arquitectura dérmica en las CQ, 6 semanas y hasta 3 años después del tratamiento. Se reclutaron veinte pacientes adultos con las CQ de mínimo 10 x 10 cm de diámetro, con VSS mayor a 5 a los 6 meses o más, desde el momento de la lesión. El área total de las CQ se asignó al azar en zonas tratadas (ZT) o zonas control sin tratamiento (ZC). Las ZT recibieron 3 TL estandarizadas a intervalos de 4 a 6 semanas más cuidados generales de la cicatriz. Las mediciones de resultados se registraron al inicio del estudio, seis semanas postratamiento final y hasta 3 años después. Se incluyó un evaluador ciego para VSS, POSAS y análisis histológico de tejidos. Los resultados clínicos revelaron una mejoría en todas las ZT a lo largo del tiempo. Hubo mejoras estadísticamente significativas en dolor y picazón, ya a las 6 semanas de aplicado el láser. Los datos histológicos revelaron un aumento significativo en las fibras de colágeno de tamaño medio a las 6 semanas, con respecto a ZC. El análisis de subgrupos según tiempo de evolución de la cicatriz reveló mayor mejoría

histológica después de la TL en cicatrices inmaduras, en relación con cicatrices más maduras. Estos resultados les permitieron concluir que 3 tratamientos con LAF CO₂ mejoran significativamente dolor, picazón y arquitectura dérmica, 6 semanas postratamiento. Los resultados histológicos sugieren un mayor potencial en el tratamiento de cicatrices inmaduras, esto último ha generado nuevas interrogantes respecto a cuál es el mejor momento para aplicar láser en el manejo de las CQ^{36,37}.

Al respecto, se pensaba que los láseres deberían aplicarse sólo después que las CQ hubiesen alcanzado maduración completa. Datos recientes sugieren que el manejo precoz con la TL vascular, LAF o LANF, meses posteriores de producida una quemadura o lesión quirúrgica, puede disminuir los síntomas y contracturas, y aumentar la movilidad, mejorando el proceso general de rehabilitación³⁸. El mejor momento para iniciar la TL en una cicatriz aún no está claro. La mayoría de las estrategias se han establecido dependiendo de las características de maduración de las CQ, tomando en consideración edad del paciente, tipo de piel, tipo de cicatriz y comorbilidades.

Karmisholt et al. en una revisión sistemática del 2018, evaluaron evidencia clínica para la intervención temprana con láser dentro de los 3 meses posteriores a la lesión, sugiriendo que existiría potencial para reducir la formación de cicatrices cutáneas cuando este se realizaba dentro de las fases de inflamación, proliferación o remodelación²⁷. El mismo grupo, en un estudio controlado, aleatorizado, intra-individual realizado al año siguiente, demostró que puede utilizarse LNAF Erbium-glass de 1.540 nm de forma segura y efectiva, un día antes de la cirugía y durante la fase temprana de cicatrización, minimizando la formación de cicatrices en heridas de espesor completo³⁹. No solo el momento exacto de la aplicación del LAF influyen en la evolución favorable de la CQ, también la densidad del espaciado de microhaces fraccionados.

Tawfic et al. el 2020 realizó un estudio prospectivo en 25 pacientes, cada uno con 3 o más CHT maduras de quemaduras. Estas se asignaron aleatoriamente a tratamiento con LAF CO₂ de baja (900 nm de espaciado, 7,4% de densidad), media (600 nm de espaciado, densidad del 12,6%) o alta densidad (300 nm de espaciado, 25,6% de densidad). Cada cicatriz recibió 3 intervenciones, con un intervalo de 1 mes entre cada terapia. El grado de mejoría se evaluó clínicamente utilizando VSS y POSAS, e histológicamente mediante evaluación del colágeno (tinción tricrómica de Masson) antes y 1 mes después de finalizada la TL. Tres meses postratamiento, la textura de la piel y el color de las áreas tratadas con la densidad más alta, mostró una mejoría significativa en los parámetros evaluados, comparativamente con los tratados con densidades medias o bajas. No se observaron efectos adversos (cicatrización, hipo o hiperpigmentación) y se observaron haces de colágeno significativamente menos densos dentro de la zona ablativa (dermis papilar y dermis reticular superficial) después de la terapia, con una disposición más

regular, horizontal y paralela⁴⁰. Si bien, los tratamientos con densidades bajas permiten una mayor fluencia y profundidad de penetración, densidades más altas aumentarían la ablación y estarían asociadas con mayor incidencia de complicaciones. Los resultados de los autores revelaron que el porcentaje más alto de mejoría en POSAS fue para flexibilidad, alivio del dolor y tirantez, especialmente en áreas tratadas con alta densidad. VSS más altos con TL de alta densidad, se correlacionaron positivamente con mejoría en el porcentaje medio de área de colágeno medido. Esto se explicaría por el hecho de que los niveles de MMP, podrían aumentar más por ablación de alta densidad, lo que llevaría a mayor remodelación del colágeno y corrección de la cicatriz⁴⁰.

Choi et al. en una revisión sistemática y metaanálisis del 2021, destacaron no sólo las mejoras significativas y rápidas en la evolución de las CQ cuando se tratan con LAF CO₂ en comparación con tratamientos más tradicionales, sino que también serían más costo-efectivas, ya que pueden realizarse ambulatoriamente y bajo anestesia local, obviando la necesidad de intervenciones quirúrgi-

cas mayores que implican costos más elevados, hospitalizaciones más prolongadas y morbilidad asociada, sin garantía de un resultado superior⁶. De hecho, un estudio reciente de Issler-Fisher et al. del 2020, describen una disminución en un 24% de la tasa de procedimientos reconstructivos sin láser (liberación de contracturas, plastias en Z e injertos de piel), desde la introducción del LAF CO₂ y que, para todos los pacientes que requirieron reconstrucción quirúrgica por CQ, disminuyó de forma significativa el tiempo de anestesia y estancia hospitalaria⁴¹.

CONCLUSIONES

Las quemaduras siguen siendo una causa importante de secuelas estéticas, funcionales y psicosociales en sus sobrevivientes. Entre las diversas modalidades quirúrgicas y no quirúrgicas de manejo, las terapias con láser LAF CO₂, cada vez con más respaldo de la evidencia, surgen como una alternativa efectiva y costo-eficiente para el manejo de las CQ. Sin embargo, aún faltan estudios prospectivos que permitan darle mayor peso a este tipo de tratamientos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés para el desarrollo de esta publicación

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- James SL, Lucchesi LR, Bisignano C, Castle CD, Dingels ZV, Fox JT, et al. *Epidemiology of injuries from fire, heat and hot substances: global, regional and national morbidity and mortality estimates from the Global Burden of Disease 2017 study*. *Inj Prev*. 2020;26(Suppl 1):i36-i45. doi: 10.1136/injuryprev-2019-043299.
- McCann C, Watson A, Barnes D. *Major burns: Part 1. Epidemiology, pathophysiology and initial management*. *BJA Educ*. 2022;22(3):94-103. doi: 10.1016/j.bjae.2021.10.001.
- MINSAL: Ministerio de Salud de Chile. 2016. *Guías Clínicas AUGÉ. 2da edición*. Disponible en: https://diprece.minsal.cl/wrdprss_minsal/wp-content/uploads/2016/04/GPC-GRAN-QUEMADO-FINAL-18-MARZO-2016_DIAGRAMADA.pdf
- Buhalog B, Moustafa F, Arkin L, Lee K, Siwy K, Donelan M, et al. *Ablative fractional laser treatment of hypertrophic burn and traumatic scars: a systematic review of the literature*. *Arch Dermatol Res*. 2021;313(5):301-317. doi: 10.1007/s00403-020-02135-5.
- Issler-Fisher AC, Waibel JS, Donelan MB. *Laser Modulation of Hypertrophic Scars: Technique and Practice*. *Clin Plast Surg*. 2017;44(4):757-766. doi: 10.1016/j.cps.2017.05.007.
- Choi KI, Williams EA, Pham CH, Collier ZI, Dang J, Yenikomshian HA, et al. *Fractional CO₂ laser treatment for burn scar improvement: A systematic review and meta-analysis*. *Burns*. 2021;47(2):259-269. doi: 10.1016/j.burns.2020.10.026.
- Kauvar ANB, Kubicki SL, Suggs AK, Friedman PM. *Laser Therapy of Traumatic and Surgical Scars and an Algorithm for Their Treatment*. *Lasers Surg Med*. 2020;52(2):125-136. doi: 10.1002/lsm.23171.
- Greenhalgh DG. *Management of Burns*. *N Engl J Med*. 2019 Jun 13;380(24):2349-2359. doi: 10.1056/NEJMra1807442.
- Solís F, Domic C, Saavedra R. *Epidemiología de las quemaduras en niños y adolescentes de región metropolitana de Chile*. [Epidemiology of burns in children and adolescents from Chile's Metropolitan Region]. *Rev Chil Pediatr*. 2014;85(6):690-700. doi: 10.4067/S0370-41062014000600006
- Solís F, Domic C, Saavedra R, González A. *incidencia y prevalencia de las lesiones por quemaduras en menores de 20 años*. [Incidence and prevalence of burn injuries in children under the age of 20 years]. *Rev Chil Pediatr*. 2014;85(6):674-681. doi: 10.4067/S0370-41062014000600004
- WHO. *World Health Organization. Burns*. 2018. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/burns>
- Finnerty CC, Jeschke MG, Branski LK, Barret JP, Dziewulski P, Herndon DN. *Hypertrophic scarring: the greatest unmet challenge after burn injury*. *Lancet*. 2016;388(10052):1427-1436. doi: 10.1016/S0140-6736(16)31406-4.
- Brusselaers N, Pirayesh A, Hoeksema H, Verbelen J, Blot S, Monstrey S. *Burn scar assessment: a systematic review of different scar scales*. *J Surg Res*. 2010;164(1):e115-e123. doi: 10.1016/j.jss.2010.05.056.
- Baryza MJ, Baryza GA. *The Vancouver Scar Scale: an administration tool and its interrater reliability*. *J Burn Care Rehabil*. 1995;16(5):535-538. doi: 10.1097/00004630-199509000-00013.
- Draaijers LJ, Tempelman FR, Botman YA, Tuinebreijer WE, Middelkoop E, Kreis RW, et al. *The patient and observer scar assessment scale: a reliable and feasible tool for scar evaluation*. *Plast Reconstr Surg*. 2004;113(7):1960-1965; discussion 1966-1967. doi: 10.1097/01.prs.0000122207.28773.56.
- Fearmonti R, Bond J, Erdmann D, Levinson H. *A review of scar scales and scar measuring devices*. *Eplasty*. 2010;10:e43.

17. Morris V, Murphy LM, Rosenberg M, Rosenberg L, Holzer CE 3rd, Meyer WJ 3rd. Itch assessment scale for the pediatric burn survivor. *J Burn Care Res.* 2012;33(3):419-424. doi: 10.1097/BCR.0b013e3182372bfa.
18. Dastagir K, Obed D, Bucher F, Hofmann T, Koyro KI, Vogt PM. Non-Invasive and Surgical Modalities for Scar Management: A Clinical Algorithm. *J Pers Med.* 2021;11(12):1259. doi: 10.3390/jpm11121259.
19. Anthonissen M, Daly D, Janssens T, Van den Kerckhove E. The effects of conservative treatments on burn scars: A systematic review. *Burns.* 2016;42(3):508-518. doi: 10.1016/j.burns.2015.12.006.
20. Tredget EE, Shupp JW, Schneider JC. Scar Management Following Burn Injury. *J Burn Care Res.* 2017;38(3):146-147. doi: 10.1097/BCR.0000000000000548.
21. Seago M, Shumaker PR, Spring LK, Alam M, Al-Niaimi F, Rox Anderson R, et al. Laser Treatment of Traumatic Scars and Contractures: 2020 International Consensus Recommendations. *Lasers Surg Med.* 2020;52(2):96-116. doi: 10.1002/lsm.23201.
22. Oosterhoff TCH, Beekman VK, van der List JP, Niessen FB. Laser treatment of specific scar characteristics in hypertrophic scars and keloid: A systematic review. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2021;74(1):48-64. doi: 10.1016/j.bjps.2020.08.108.
23. Zuccaro J, Ziolkowski N, Fish J. A Systematic Review of the Effectiveness of Laser Therapy for Hypertrophic Burn Scars. *Clin Plast Surg.* 2017;44(4):767-779. doi: 10.1016/j.cps.2017.05.008.
24. Nouri K, Vidulich K, Rivas MP. Lasers for scars: a review. *J Cosmet Dermatol.* 2006;5(1):14-22. doi: 10.1111/j.1473-2165.2006.00217.x.
25. Kuehlmann B, Stern-Buchbinder Z, Wan DC, Friedstat JS, Gurtner GC. Beneath the Surface: A Review of Laser Remodeling of Hypertrophic Scars and Burns. *Adv Wound Care.* 2019;8(4):168-76.
26. Khatri KA, Mahoney DL, McCartney MJ. Laser scar revision: A review. *J Cosmet Laser Ther.* 2011;13(2):54-62. doi: 10.3109/14764172.2011.564625.
27. Karmisholt KE, Haerskjold A, Karlsmark T, Waibel J, Paasch U, Haedersdal M. Early laser intervention to reduce scar formation - a systematic review. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2018;32(7):1099-1110. doi: 10.1111/jdv.14856.
28. Shirakami E, Yamakawa S, Hayashida K. Strategies to prevent hypertrophic scar formation: a review of therapeutic interventions based on molecular evidence. *Burns Trauma.* 2020;8:tkz003. doi: 10.1093/burnst/tkz003.
29. Peng W, Zhang X, Kong X, Shi K. The efficacy and safety of fractional CO2 laser therapy in the treatment of burn scars: A meta-analysis. *Burns.* 2021;47(7):1469-1477. doi: 10.1016/j.burns.2021.08.010.
30. Leszczynski R, da Silva CA, Pinto ACPN, Kuczynski U, da Silva EM. Laser therapy for treating hypertrophic and keloid scars. *Cochrane Database Syst Rev.* 2022;9(9):CD011642. doi: 10.1002/14651858.CD011642.pub2.
31. Klifto KM, Asif M, Hultman CS. Laser management of hypertrophic burn scars: a comprehensive review. *Burns Trauma.* 2020;8:tkz002. doi: 10.1093/burnst/tkz002.
32. Altemir A, Boixeda P. Tratamiento láser de cicatrices por quemaduras. [Laser Treatment of Burn Scars]. *Actas Dermosifiliogr.* 2022;113(10):T938-T944. doi: 10.1016/j.ad.2022.06.018
33. Cox C, Bettiol P, Le A, MacKay BJ, Griswold J, McKee D. CO2 laser resurfacing for burn and traumatic scars of the hand and upper extremity. *Scars Burn Heal.* 2022;8:20595131211047694. doi: 10.1177/20595131211047694.
34. Willows BM, Ilyas M, Sharma A. Laser in the management of burn scars. *Burns.* 2017;43(7):1379-1389. doi: 10.1016/j.burns.2017.07.001.
35. Zhang C, Yin K, Shen YM. Efficacy of fractional carbon dioxide laser therapy for burn scars: a meta-analysis. *J Dermatolog Treat.* 2021;32(7):845-850. doi: 10.1080/09546634.2019.1704679.
36. Douglas H, Lynch J, Harms KA, Krop T, Kunath L, van Vreeswijk C, et al. Carbon dioxide laser treatment in burn-related scarring: A prospective randomised controlled trial. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2019;72(6):863-870. doi: 10.1016/j.bjps.2019.01.027.37.
37. Blome-Eberwein S, Gogal C, Weiss MJ, Boorse D, Pagella P. Prospective Evaluation of Fractional CO2 Laser Treatment of Mature Burn Scars. *J Burn Care Res.* 2016;37(6):379-387. doi: 10.1097/BCR.0000000000000383.
38. Lee SH, Zheng Z, Roh MR. Early postoperative treatment of surgical scars using a fractional carbon dioxide laser: a split-scar, evaluator-blinded study. *Dermatol Surg.* 2013;39(8):1190-1196. doi: 10.1111/dsu.12228.
39. Karmisholt KE, Wenande E, Thaysen-Petersen D, Philipsen PA, Paasch U, Haedersdal M. Early intervention with non-ablative fractional laser to improve cutaneous scarring-A randomized controlled trial on the impact of intervention time and fluence levels. *Lasers Surg Med.* 2018;50(1):28-36. doi: 10.1002/lsm.22707.
40. Tawfic S, Sayed S, Nada A, Manaa D, Shalaby S. High-Versus Low-Density Fractional Laser in the Treatment of Hypertrophic Postburn Scars: A Randomized Clinical Trial. *Dermatol Surg.* 2020;46(9):e38-e44. doi: 10.1097/DSS.0000000000002293.
41. Issler-Fisher AC, Fisher OM, Clayton NA, Aggarwala S, Haertsch PA, Li Z, et al. Ablative fractional resurfacing for burn scar management affects the number and type of elective surgical reconstructive procedures, hospital admission patterns as well as length of stay. *Burns.* 2020;46(1):65-74. doi: 10.1016/j.burns.2019.01.004.