

Fecha de recepción:
10-06-2025
Fecha de aceptación:
21-11-2025

Artículo original

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en el presente trabajo de investigación.

© 2025 Publicado por: Revista Iberoamericana de Láser Médico (RILMED). Órgano de divulgación científica de la Academia Iberoamericana de Láser Médico
Los autores conservan los derechos de autor y otorgan a la revista el derecho exclusivo de la publicación, con acceso abierto bajo los términos de la Licencia Atribución-No Comercial 4.0 Internacional (CC BY NC 4.0) [https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/]. Esta licencia permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada. Para más información, por favor contacte a: ailmed.direcciondeinvestigacion@gmail.com



Para comunicarse con el autor principal Juan contreras
E-mail: kanene8676@hotmail.com
Venezuela

Cómo citar

Contreras Figuera, J., Suárez, O. & Criado A. Láser de dióxido de carbono fraccionado y exosomas sintéticos en el tratamiento de cicatrices posterior a quemaduras. *Revista Iberoamericana De Láser Médico*, 5(2). Recuperado a partir de <https://rilmed.ailmed.org/index.php/rilmed/article/view/74>

TRATAMIENTO DE CICATRICES POR QUEMADURAS CON LÁSER FRACCIONADO DE CO₂ Y EXOSOMAS SINTÉTICOS: UNA INTERVENCIÓN REGENERATIVA DUAL

Juan Contreras¹; Oscar Suarez²; Antonio Criado³

Resumen

Las cicatrices postquemaduras representan un desafío clínico por su impacto estético, funcional y emocional en los pacientes. Esto ha impulsado el desarrollo de terapias innovadoras que promuevan la regeneración cutánea y mejoren la calidad de vida. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la eficacia del láser fraccionado de CO₂, aplicado como monoterapia y en combinación con exosomas sintéticos (terapia dual), en el tratamiento de cicatrices por quemaduras. Se analizaron 12 cicatrices tratadas en cuatro sesiones, distribuidas en dos protocolos: láser CO₂ fraccionado solo y láser CO₂ fraccionado con exosomas. Desde la segunda sesión, ambos tratamientos mostraron mejoras significativas ($p < 0,05$) en flexibilidad, grosor, relieve, elasticidad y reducción de superficie, según las escalas de Cicatrización de Vancouver (VSS) y de Evaluación de Cicatrices por Observador y Paciente (POSAS). La terapia dual presentó resultados superiores ($p < 0,05$), con mejoras del 33,5% en VSS, 46,1% en POSAS médico y 40,8% en POSAS paciente, superando a la monoterapia. En conclusión, el láser fraccionado de CO₂, especialmente combinado con exosomas sintéticos, constituye una alternativa ambulatoria, segura y eficaz para el tratamiento de cicatrices por quemaduras, favoreciendo la restauración funcional y estética de la piel.

Palabras clave: cicatrices, quemaduras, láser CO₂ fraccionado, exosomas, POSAS, VSS.

TREATMENT OF BURN SCARS WITH FRACTIONAL CO₂ LASER AND SYNTHETIC EXOSOMES: A DUAL REGENERATIVE INTERVENTION

Abstract

Post-burn scars represent a clinical challenge due to their aesthetic, functional, and psychological impact on patients. This has prompted the development of innovative therapies aimed at promoting skin regeneration and improving quality of life. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of fractional CO₂ laser therapy, applied as monotherapy and in combination with synthetic exosomes (dual therapy), in the treatment of burn scars. Twelve scars were treated over four sessions using two protocols: fractional CO₂ laser alone and fractional CO₂ laser combined with exosomes. From the second session onward, both approaches showed significant improvements ($p < 0.05$) in flexibility, thickness, contour, elasticity, and surface reduction, based on the Vancouver Scar Scale (VSS) and the Patient and Observer Scar Assessment Scale (POSAS). Dual therapy demonstrated superior outcomes ($p < 0.05$), with improvements of 33.5% in VSS, 46.1% in physician POSAS, and 40.8% in patient POSAS, outperforming monotherapy. In conclusion, fractional CO₂ laser therapy particularly when combined with synthetic exosomes offers a safe, effective, and non-invasive outpatient alternative for the treatment of burn scars, contributing to both functional and aesthetic skin restoration.

Keywords: scars, burns, fractional CO₂ laser, exosomes, POSAS, VSS.

¹ Médico Cirujano Plástico Reconstructivo, Universidad Central de Venezuela. Director de la Unidad Quirúrgica La Montaña. Miembro de la sociedad venezolana de cirugía plástica

² Médico Cirujano Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado UCLA, Maestría en Medicina Estética Universidad Tecnología de México, Máster en Medicina Estética Universidad de Barcelona España. Maestría en Laser Médico Universidad Politécnica de Cataluña España Profesor titular y director de la Especialización de Medicina Fotónica en Dermatocosmética FGU-AILMED. Presidente de la Sociedad Venezolana de Láser Médico. Director General de la Academia Iberoamericana de Láser Médico AILMED. Director General del Instituto de Altos Estudios en Ciencias de la Salud de la Florida Global University Estados Unidos.

³ Médico Cirujano, (Universidad Central de Venezuela). Especialista en Estética Médica FUCEME-UIME. Especialista en láser para aplicaciones dermoestéticas, (Universidad de Carabobo). Docente de la Maestría en Medicina estética, antienvjecimiento y obesidad (IPPC –Instituto Panamericano de Profesionales científico – UNAM –México). Caracas-Venezuela.



Introducción

Las quemaduras representan un problema de salud pública global, con aproximadamente 180.000 muertes anuales y una alta carga de secuelas físicas y psicológicas en los sobrevivientes [1]. Entre las secuelas más frecuentes se encuentran las cicatrices hipertróficas y queloides, que generan deformidades, limitación funcional, dolor, prurito y afectación estética significativa [2,3]. Estas cicatrices se originan por una respuesta cicatricial anómala, caracterizada por una síntesis excesiva de colágeno, proliferación de fibroblastos y neovascularización desorganizada [4].

El proceso de cicatrización postquemadura incluye tres fases: inflamación, proliferación y remodelación. Durante la fase inflamatoria, se activa una cascada de citocinas que promueve la migración de células inmunes; en la fase proliferativa, se forma la matriz extracelular (ECM) y se inicia la angiogénesis; finalmente, en la fase de remodelación, el colágeno tipo III es reemplazado por colágeno tipo I, formando una cicatriz estructuralmente estable pero funcionalmente limitada [5].

El tratamiento convencional de estas cicatrices incluye prendas compresivas, láminas de silicona, corticosteroides tópicos o intralesionales, y cirugía reconstructiva [6]. Sin embargo, estos métodos presentan limitaciones como baja adherencia, resultados variables y riesgo de recurrencia [7]. En este contexto, han surgido terapias lumínicas como alternativas menos invasivas, entre ellas el láser fraccionado de dióxido de carbono (CO₂), que ha demostrado eficacia en la remodelación dérmica [8].

El láser CO₂ fraccionado actúa mediante la generación de microcolumnas de ablación térmica en la epidermis y dermis, estimulando la neocolagénesis y reorganización de la ECM [9]. Su capacidad de penetración profunda (hasta 4 mm) y su efecto de coagulación controlada lo convierten en una herramienta útil para mejorar el grosor, elasticidad, pigmentación y relieve de las cicatrices [10]. Estudios clínicos han reportado mejoras significativas en parámetros objetivos y subjetivos, incluyendo calidad de vida [11].

Recientemente, se ha explorado la combinación del láser CO₂ con terapias regenerativas como los exosomas sintéticos. Los

exosomas son vesículas extracelulares de 40–100 nm que contienen proteínas, ARN, citocinas y factores de crecimiento, capaces de modular procesos como proliferación celular, angiogénesis y remodelación tisular [12,13]. Su aplicación tópica posterior al láser potencia la respuesta reparativa, como lo evidencian estudios histológicos que muestran fibras de colágeno más organizadas y aumento de fibroblastos activos [14].

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficacia del láser fraccionado de CO₂, aplicado como monoterapia y en combinación con exosomas sintéticos, en el tratamiento de cicatrices postquemaduras. Se plantea como una intervención regenerativa dual, ambulatoria y no invasiva, orientada a mejorar tanto la apariencia estética como la funcionalidad de la piel lesionada.

Metodología

Se llevó a cabo un estudio cuasiexperimental de cohorte prospectiva, para ello se incluyeron pacientes adultos con fototipo cutáneo III o IV (según la escala de Fitzpatrick), que presentaban cicatrices por quemaduras de al menos seis meses de evolución.

Se excluyeron aquellos con antecedentes de tratamiento láser reciente (últimos tres meses), embarazo o lactancia, trastornos hematológicos, uso de anticoagulantes, diabetes, enfermedades del tejido conectivo, infecciones virales activas, antecedentes oncológicos o tratamiento quimioterapéutico. Todos los participantes firmaron consentimiento informado. Se recolectaron datos clínicos mediante cuestionario estructurado: edad, sexo, localización, extensión, tipo de quemadura, tiempo de evolución y tratamientos previos.

Cada cicatriz fue dividida en dos zonas equivalentes: una tratada con terapia dual (láser CO₂ fraccionado más exosomas sintéticos) y otra con monoterapia (solo láser CO₂). Se realizaron cuatro sesiones con intervalos de tres semanas. Se utilizó un equipo láser fraccionado de CO₂ de 10.600 nm (Scan-Peel®, Giustra Medical Corporation), con parámetros de 18 W de potencia, modo pulsado y densidad del 0,8%. Posteriormente, se aplicaron exosomas sintéticos V-Tech System® (SolerPharma®), derivados de





células madre vegetales, en la zona asignada a terapia dual. En la zona de monoterapia se aplicó crema humectante como placebo.

La evolución clínica fue evaluada por dos médicos especialistas mediante observación directa y registro fotográfico. Se utilizaron dos escalas validadas: la Escala de Cicatrización de Vancouver (VSS) y la Escala de Evaluación de Cicatrices por Observador y Paciente (POSAS). Se analizaron parámetros como vascularización, pigmentación, grosor, relieve, elasticidad, superficie y percepción subjetiva del paciente.

El análisis estadístico se realizó con el software SPSS versión 15. Las variables cualitativas se expresaron en frecuencias y porcentajes, y las cuantitativas en medias y desviaciones estándar. Para la comparación intergrupar entre sesiones se aplicó la prueba t de Student para muestras pareadas. Se consideró estadísticamente significativo todo valor de $p \leq 0,05$.

Resultados

En total, se evaluaron y trataron 24 zonas con cicatrices originadas por quemaduras causadas por fuego directo (83,3%) y agua caliente (16,7%). Con respecto a la ubicación de las cicatrices, éstas se encontraban en los brazos (66,7% de la muestra), hombro (16,7%), oreja (8,3%) y espalda (8,3%), con un tiempo de evolución de $7,2 \pm 12,8$ años. La media de edad de los pacientes era $23,8 \pm 10,2$ años, la mayoría de género masculino (60%) con fototipo III (80%) y IV (20%). Todas las 24 zonas fueron tratadas de forma aleatoria, una mitad fue tratada con la terapia dual (láser CO2 y exosomas) y la otra con monoterapia (únicamente láser CO2), en todas ellas se culminó el protocolo completo de intervención para cada lado de tratamiento (figura 1 y 2).



Figura 1. Seguimiento de la evolución clínica por sesión de tratamiento de las cicatrices post quemaduras ubicadas en brazos anterior.

Lado izquierdo: terapia dual (láser CO2 mas exosomas) y lado derecho: monoterapia (láser CO2).



Figura 2. Seguimiento de la evolución clínica por sesión de tratamiento de las cicatrices post quemaduras ubicada en brazo posterior.

Lado izquierdo: terapia dual (láser CO2 más exosomas) y lado derecho: monoterapia (láser CO2).





Figura 3. Seguimiento de la evolución clínica por sesión de tratamiento de las cicatrices post quemaduras ubicada en región lumbar derecha (cicatriz 8), cervical posterior derecha (cicatriz 9) y posterior del codo derecho (cicatriz 10).

Lado izquierdo: terapia dual (láser CO2 más exosomas) y lado derecho: monoterapia (láser CO2).

En las figuras 1, 2, 3 y 4 se ilustran los cambios observados en la evolución de las cicatrices a lo largo de las sesiones de tratamiento, según cada uno de los protocolos aplicados.

Tabla 1. Antes y después del tratamiento con láser CO2 fraccionado combinado y sin exosomas sintéticos evaluado con la Escala de Cicatrización de Vancouver (VSS)

Sesiones	Láser CO2 fraccionado Con exosomas (terapia dual)				p
	S1	S2	S3	S4	
Vascularización	0,71 ± 0,15	0,50 ± 0,12	0,50 ± 0,13	0,50 ± 0,11	>0,05
Pigmentación	1,67 ± 0,56	1,75 ± 0,44	1,75 ± 0,45	1,75 ± 0,43	>0,05
Flexibilidad	3,83 ± 0,76	2,75 ± 0,76*	2,33 ± 0,70*	2,00 ± 0,51*	*<0,05
Espesor	2,25 ± 0,61	1,50 ± 0,59*	1,46 ± 0,51*	1,33 ± 0,48*	*<0,05
Total	8,46 ± 1,21	6,50 ± 1,25*	6,04 ± 1,12*	5,62 ± 1,01*	*<0,05
Sesiones	Láser CO2 fraccionado (Monoterapia)				p
	S1	S2	S3	S4	
Vascularización	0,70 ± 0,15	0,54 ± 0,12	0,54 ± 0,13	0,51 ± 0,11	>0,05
Pigmentación	1,67 ± 0,55	1,75 ± 0,42	1,75 ± 0,44	1,75 ± 0,44	>0,05
Flexibilidad	3,87 ± 0,74	3,29 ± 0,80*	2,62 ± 0,65*	2,25 ± 0,60*	*<0,05
Espesor	2,25 ± 0,61	1,50 ± 0,51*	1,50 ± 0,59*	1,50 ± 0,58*	*<0,05
Total	8,50 ± 1,10	7,08 ± 1,24*	6,37 ± 1,24*	6,04 ± 1,23*	*<0,05

*comparaciones entre cada una de las valoraciones obtenidas en la sesión versus la valoración basal

Tal como se muestra en la tabla 1 y en la figura 4, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en los parámetros de vascularización y pigmentación durante el seguimiento.

Sin embargo, sí se registraron variaciones relevantes en la flexibilidad y el espesor de las cicatrices al comparar los resultados obtenidos en las sesiones 2, 3 y 4 con respecto a los valores basales (previos al inicio del protocolo).

En la sesión 2, la flexibilidad fue de $2,75 \pm 0,76$ en la terapia dual y de $3,29 \pm 0,81$ en la monoterapia, mientras que el espesor alcanzó $1,50 \pm 0,59$ y $1,50 \pm 0,51$, respectivamente. En la sesión 3, los valores de flexibilidad fueron $2,33 \pm 0,70$ (terapia dual) y $2,63 \pm 0,65$ (monoterapia), y los de espesor $1,46 \pm 0,51$ y $1,50 \pm 0,59$. Finalmente, en la sesión 4, la flexibilidad se redujo a $2,00 \pm 0,51$ en la terapia dual y a $2,25 \pm 0,61$ en la monoterapia, mientras que el espesor fue de $1,33 \pm 0,48$ y $1,50 \pm 0,59$, respectivamente. Estos valores contrastan con los parámetros iniciales (flexibilidad: $3,83 \pm 0,76$ y $3,88 \pm 0,74$; espesor: $2,25 \pm 0,61$ en ambos grupos).

En consecuencia, se evidenció una mejora estética y funcional de las cicatrices, alcanzando un 33,5% en la cuarta sesión con la combinación de láser CO₂ más exosomas, y un 28,9% con la aplicación exclusiva de láser CO₂. Esta mejoría se refleja en la disminución del índice total del VSS (figura 3), al comparar los valores iniciales (terapia dual: $8,46 \pm 1,22$; monoterapia: $8,50 \pm 1,10$) con los obtenidos en la cuarta sesión (terapia dual: $5,63 \pm 1,01$; monoterapia: $6,04 \pm 1,23$).





Tabla 2. Antes y después del tratamiento con láser CO2 fraccionado combinado y sin exosomas sintéticos evaluado con la Escala de Evaluación de Cicatrices por Observador (POSAS)

Sesiones	Láser CO2 fraccionado Con exosomas (terapia dual)				P
	S1	S2	S3	S4	
Vascularización	3,25 ± 1,36	3,25 ± 0,75	3,25 ± 0,75	3,25 ± 0,75	>0,05
Pigmentación	4,42 ± 1,51	3,83 ± 0,83	3,83 ± 0,82	3,83 ± 0,83	>0,05
Grosor	7,17 ± 1,80	4,42 ± 1,51*	4,00 ± 1,04*	3,50 ± 1,09*	*<0,05
Relieve	7,75 ± 1,22	4,42 ± 1,31*	4,00 ± 0,95*	3,50 ± 0,90*	*<0,05
Elasticidad	8,00 ± 1,35	4,33 ± 1,30*	3,75 ± 1,14*	3,00 ± 1,04*	*<0,05
Superficie	8,08 ± 1,08	4,58 ± 1,56*	4,17 ± 1,40*	3,75 ± 1,42*	*<0,05
General	8,33 ± 0,65	4,83 ± 1,59*	4,58 ± 1,16*	4,33 ± 1,30*	*<0,05
Total	38,67 ± 5,74	24,83 ± 5,67*	23,00 ± 4,51*	20,83 ± 4,20*	*<0,05
Sesiones	Láser CO2 fraccionado (Monoterapia)				P
Vascularización	3,25 ± 1,36	3,25 ± 0,75	3,25 ± 0,75	3,25 ± 0,75	>0,05
Pigmentación	4,42 ± 1,51	3,83 ± 0,83	3,83 ± 0,83	3,83 ± 0,82	>0,05
Grosor	7,17 ± 1,80	5,67 ± 1,56*	4,92 ± 1,16*	4,50 ± 1,24*	*<0,05
Relieve	7,75 ± 1,22	5,75 ± 1,42*	4,92 ± 1,24*	4,25 ± 1,14*	*<0,05
Elasticidad	8,00 ± 1,35	6,00 ± 1,54*	5,42 ± 1,31*	4,75 ± 1,54*	*<0,05
Superficie	8,08 ± 1,08	5,92 ± 1,62*	5,33 ± 1,37*	4,83 ± 1,27*	*<0,05
General	8,33 ± 0,65	6,00 ± 1,48*	5,50 ± 1,09*	5,00 ± 1,04*	*<0,05
Total	38,67 ± 5,74	30,42 ± 6,63*	27,67 ± 5,48*	25,42 ± 5,47*	*<0,05

*comparaciones entre cada una de las valoraciones obtenidas en la sesión versus la valoración basal

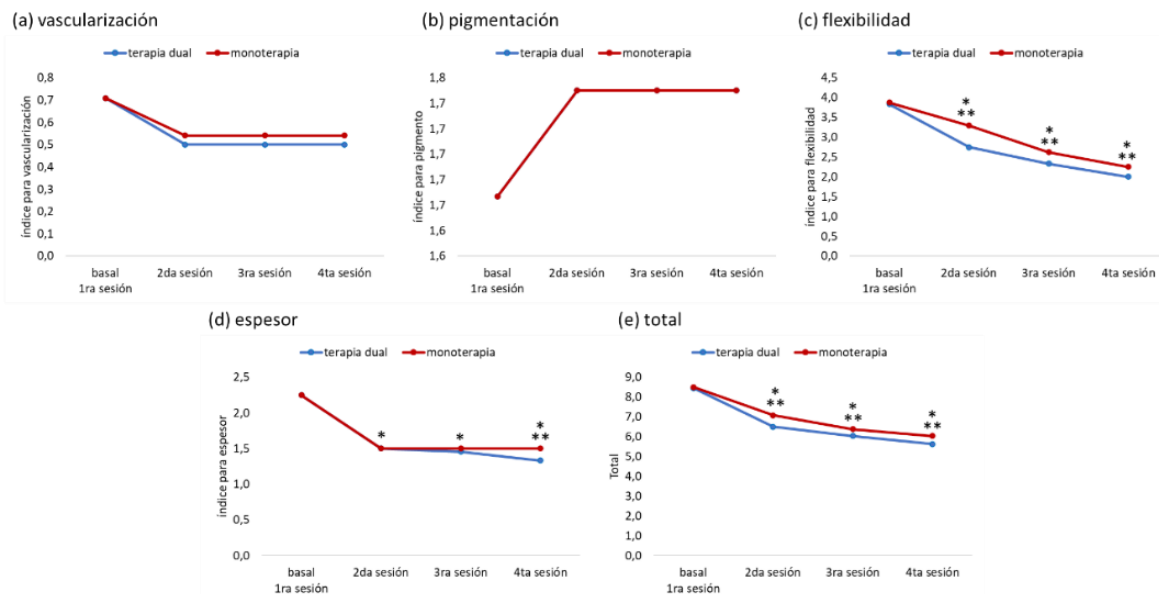


Figura 4. Evolución clínica de las cicatrices post quemaduras tratadas con láser CO2 más exosomas (terapia dual) y únicamente láser CO2 (monoterapia), según la Escala de Cicatrización de Vancouver (VSS).

Valores asociados a vascularización (a), pigmentación (b), flexibilidad (c), espesor (d) y el total del VSS (e). *p<0,05; diferencia significativa al comparar los resultados basales con los obtenidos en las diferentes sesiones, para los diferentes protocolos aplicados. **p<0,05; diferencia significativa al comparar los resultados de la terapia dual con los que respecta a la monoterapia en cada sesión.

Tabla 3. Antes y después del tratamiento con láser CO2 fraccionado combinado y sin exosomas sintéticos evaluado con la Escala de Evaluación de Cicatrices por Paciente (POSAS)

Sesiones	Láser CO2 fraccionado/ Con exosomas (terapia dual)				p
	S1	S2	S3	S4	
Dolor	2,42 ± 1,78	1,58 ± 1,24*	1,50 ± 1,00*	1,50 ± 1,00*	*<0,05
Prurito	3,00 ± 1,91	2,58 ± 2,02	2,50 ± 1,83	2,50 ± 1,83	>0,05
Color	3,83 ± 2,48	3,50 ± 1,51	3,50 ± 1,50	3,50 ± 1,50	>0,05
Rigidez	6,50 ± 1,73	4,50 ± 1,45*	3,83 ± 1,19*	3,08 ± 1,08*	*<0,05
Grosor	7,42 ± 2,43	4,83 ± 1,34*	4,17 ± 1,11*	3,42 ± 1,08*	*<0,05
Irregularidad	8,25 ± 1,48	6,08 ± 1,51*	5,42 ± 0,90*	4,58 ± 0,90*	*<0,05
General	8,58 ± 2,15	6,08 ± 2,02*	5,42 ± 1,73*	4,75 ± 1,76*	*<0,05
Total	31,42 ± 4,64	23,08 ± 5,92*	20,92 ± 4,76*	18,58 ± 4,44*	*<0,05
Sesiones	Láser CO2 fraccionado/ (Monoterapia)				p
	S1	S2	S3	S4	
	2,42 ± 1,78	*<0,05	1,58 ± 1,23*	1,58 ± 1,24*	*<0,05
	3,00 ± 1,91	>0,05	2,50 ± 1,83	2,42 ± 1,68	>0,05
	3,83 ± 2,48	>0,05	3,67 ± 1,55	3,67 ± 1,55	>0,05
	6,50 ± 1,73	*<0,05	4,58 ± 1,00*	3,83 ± 0,94*	*<0,05
	7,42 ± 2,43	*<0,05	4,83 ± 1,03*	4,42 ± 1,08*	*<0,05
	8,25 ± 1,48	*<0,05	5,58 ± 1,08*	5,17 ± 1,19*	*<0,05
	8,58 ± 2,15	*<0,05	6,00 ± 1,76*	5,75 ± 1,60*	*<0,05
	31,42 ± 4,64	*<0,05	22,75 ± 4,69*	21,08 ± 4,64*	*<0,05

*comparaciones entre cada una de las valoraciones obtenidas en la sesión versus la valoración basal

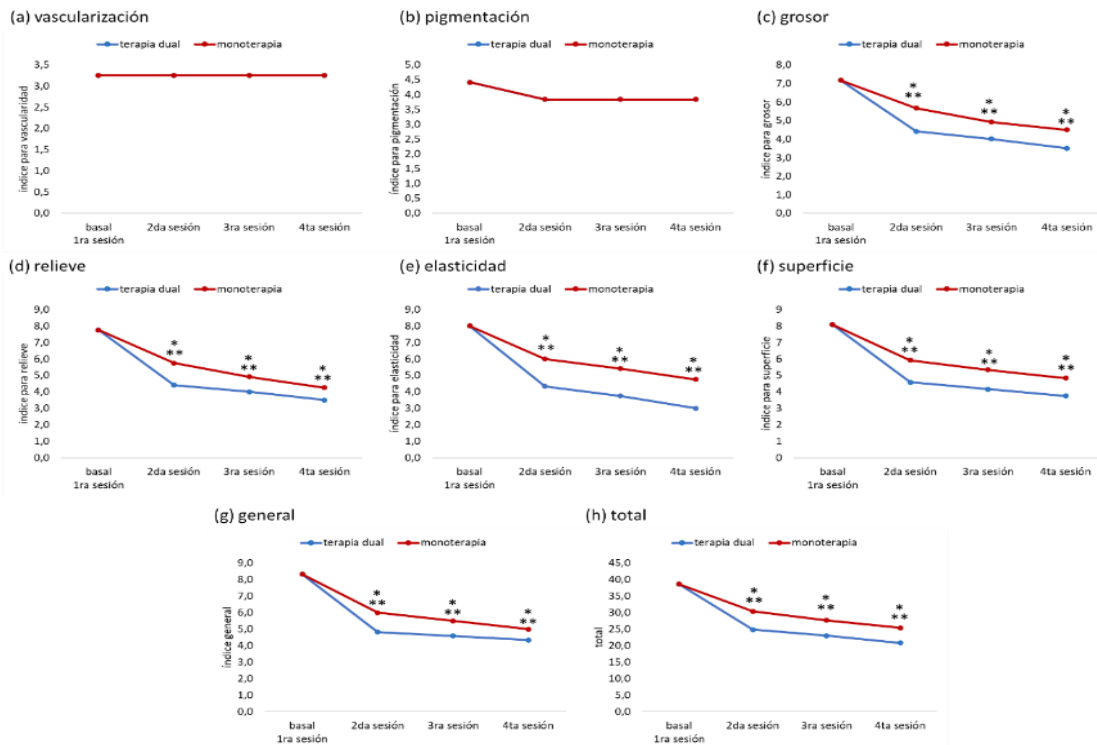


Figura 5. Evolución clínica de las cicatrices post quemaduras tratadas con láser CO2 más exosomas (terapia dual) y únicamente láser CO2 (monoterapia), según la Escala de Evaluación de Cicatrices por Observador (POSAS).

Valores asociados a vascularización (a), pigmentación (b), grosor (c), relieve (d), elasticidad (e), superficie (f), evaluación general por el médico tratante (g) y el total del POSAS (h). * $p < 0,05$; diferencia significativa al comparar los resultados basales con los obtenidos en las diferentes sesiones, para los diferentes protocolos aplicados. ** $p < 0,05$; diferencia significativa al comparar los resultados de la terapia dual con los que respecta a la monoterapia en cada sesión.

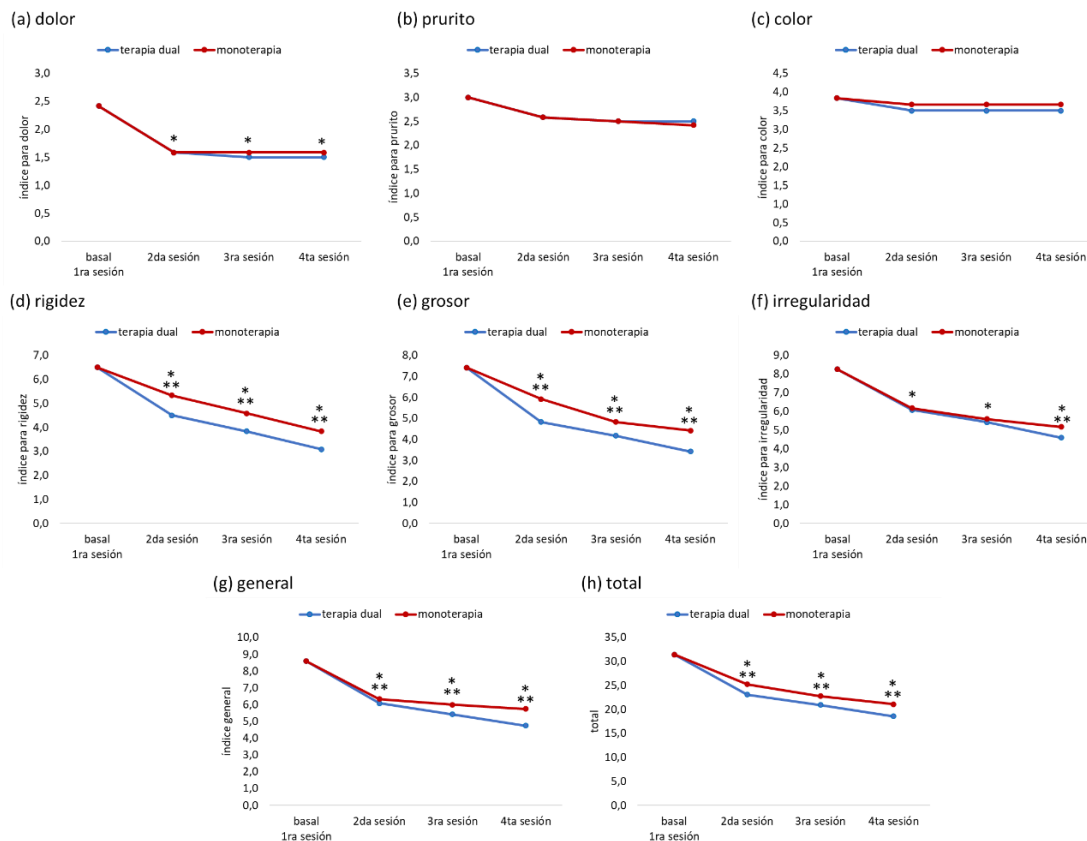


Figura 6. Evolución clínica de las cicatrices post quemaduras tratadas con láser CO₂ más exosomas (terapia dual) y únicamente láser CO₂ (monoterapia), según la Escala de Evaluación de Cicatrices por Paciente (POSAS)

Valores asociados a vascularización (a), pigmentación (b), grosor (c), relieve (d), elasticidad (e), superficie (f), evaluación general por el paciente (g) y el total del POSAS (h). * $p < 0,05$; diferencia significativa al comparar los resultados basales con los obtenidos en las diferentes sesiones, para los diferentes protocolos aplicados. ** $p < 0,05$; diferencia significativa al comparar los resultados de la terapia dual con los que respecta a la monoterapia en cada sesión.

En este sentido, también se evaluó mediante los parámetros definidos en la valoración del POSAS por la observación del médico tratante y la evolución de las cicatrices, a razón de los componentes que conforman al mismo (tabla 2, figura 5). De igual forma que el VSS, tampoco se encontraron diferencias significativas en la vascularización y pigmentación que se presentan en las cicatrices. Pero si se encontró cambios significativos a partir de la segunda sesión para los parámetros de grosor (terapia dual: $4,42 \pm 1,51$, monoterapia: $5,67 \pm 1,56$), relieve (terapia dual: $4,42 \pm 1,31$, monoterapia: $5,75 \pm 1,42$), elasticidad (terapia dual: $4,33 \pm 1,30$, monoterapia: $6,00 \pm 1,54$), superficie (terapia dual: $4,58 \pm 1,56$, monoterapia: $5,92 \pm 1,62$), evaluación general (terapia dual: $4,83 \pm 1,59$, monoterapia: $6,00 \pm 1,48$) y el total POSAS (terapia dual: $24,83 \pm 5,67$, monoterapia: $30,42 \pm 6,63$) en comparación de los valores basales.

La mejora en cuanto a estos parámetros mencionados fue superior en la terapia combinada que los obtenidos en la monoterapia al culminar el protocolo completo de intervención, lo que conlleva según el total de la escala de POSAS un



aumento estético y funcional de las cicatrices en un 46,1% para la terapia dual y un 34,3% para la monoterapia. Asimismo, para la evaluación del POSAS por el paciente (tabla 3, figura 6), se encontró que hubo una disminución ($p < 0,05$) de los índices de dolor a partir de la segunda sesión (terapia dual: $1,58 \pm 1,24$, monoterapia: $1,58 \pm 1,20$), pero este cambio no fue significativo cuando se compararon ambos protocolos. De igual manera, no se encontró una reducción de los niveles de prurito y color durante todas las sesiones aplicadas, independientemente del protocolo aplicado. En cambio, por parte del paciente a partir de la segunda sesión si se notó una menor ($p < 0,05$) rigidez (terapia dual: $4,50 \pm 1,45$, monoterapia: $5,33 \pm 1,50$), grosor (terapia dual: $4,83 \pm 1,34$, monoterapia: $5,92 \pm 1,62$) e irregularidad (terapia dual: $6,08 \pm 1,51$, monoterapia: $6,17 \pm 1,59$), la cuales fueron disminuyendo gradualmente hasta alcanzar la cuarta sesión.

Lo que significa en la evaluación total del POSAS por parte del paciente, un aumento de conformidad del 40,8% y 32,9% de las cicatrices cuando fueron tratadas con la terapia dual y monoterapia, respectivamente.

En la figura 7 y 8, se puede observar como a medida que se iban realizando la diferencias sesiones de intervención láser CO₂ más exosomas, en cuanto a un aumento de la movilidad con una disminución de la atrofia funcional, como la limitación marcada a la abducción del hombro que desde un máximo de 120 grados posterior a las cuatro sesiones llegó a alcanzar un ángulo de hasta 180 grados (figura 6).

De igual forma se puede evidenciar un aumento en el despliegue de la región retroauricular izquierda cuando después de 4 sesiones de tratamiento dual (figura 7). En ninguno de los casos se reportaron efectos adversos graves para ambos protocolos, solo edema y eritema proveniente a la intervención con el láser CO₂ fraccionado que desapareció entre 24 y 48 horas después aplicado dicho tratamiento.

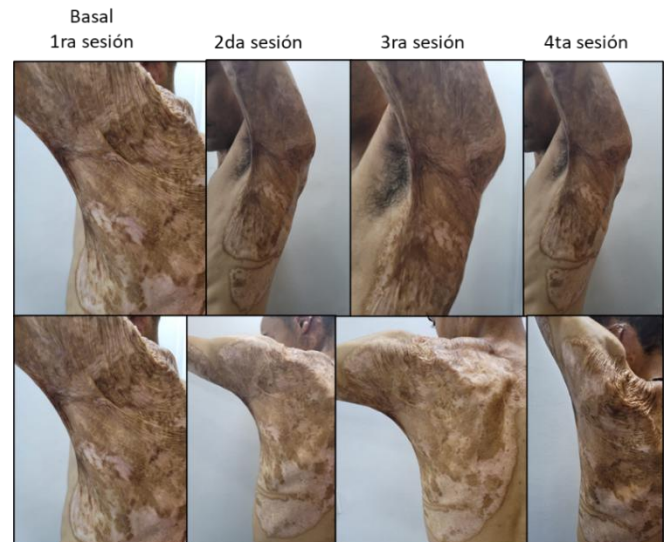


Figura 7. Disminución de la atrofia funcional del hombro con intervención láser CO₂ más exosomas combinando secuencias en axila y región dorsal posterior izquierda.



Figura 8. Aumento en el despliegue de la región retroauricular izquierda

Discusión

Los resultados de este estudio confirman que el láser fraccionado de CO₂, tanto en monoterapia como combinado con exosomas sintéticos, mejora significativamente las características clínicas de las cicatrices postquemaduras. Desde la segunda sesión se observaron cambios relevantes en flexibilidad, grosor, relieve y elasticidad, con mayor eficacia en la terapia dual.

Hultman et al. recomiendan entre 4 y 6 sesiones de láser fraccionado para lograr remodelación cicatricial efectiva, con mejoras en prurito, dolor y movilidad [29]. En nuestro estudio, cuatro sesiones fueron suficientes para evidenciar mejoras sostenidas, especialmente en la flexibilidad y el dolor, aunque el prurito mostró una reducción leve, lo que sugiere que podrían requerirse más sesiones para optimizar este parámetro.



El láser CO₂ fraccionado ha demostrado eficacia en diversas condiciones dermatológicas, como estrías [30,31], cicatrices de acné [32,33] y quemaduras [19,34]. Su acción se basa en la generación de microlesiones térmicas que inducen neocolagénesis y reorganización de la matriz extracelular, permitiendo una remodelación controlada del tejido cicatricial [35]. Willows et al., en una revisión de 51 estudios, concluyeron que el láser ablativo fraccionado tiene potencial para liberar contracturas sin necesidad de cirugía [36].

La combinación con exosomas sintéticos potenció los efectos del láser. Estas vesículas extracelulares contienen proteínas, ARN y factores de crecimiento que modulan procesos como proliferación celular, angiogénesis y remodelación tisular [22–24]. Zhang et al. describieron fibras de colágeno más organizadas y aumento de fibroblastos activos tras su aplicación [25].

La percepción subjetiva del paciente también fue más favorable con la terapia dual, como lo evidencian los puntajes POSAS. Esto es relevante, ya que la satisfacción del paciente es un indicador clave en terapias estéticas y funcionales. En comparación con tratamientos tradicionales como prendas compresivas o láminas de silicona, que requieren alta adherencia y presentan resultados variables [27], el láser fraccionado ofrece una alternativa ambulatoria, menos invasiva y con menor riesgo de efectos adversos.

En este estudio no se reportaron complicaciones graves; los efectos secundarios fueron transitorios, como edema y eritema leve. Estos hallazgos respaldan el uso del láser CO₂ fraccionado, especialmente en combinación con exosomas, como una intervención regenerativa segura, eficaz y bien tolerada para el tratamiento de cicatrices por quemaduras.

Conclusiones

El tratamiento de cicatrices postquemaduras mediante láser fraccionado de CO₂, especialmente cuando se combina con exosomas sintéticos, demostró ser una intervención eficaz, segura y bien tolerada. Desde la segunda sesión se observaron mejoras significativas en parámetros clínicos como flexibilidad, grosor, relieve y elasticidad, con resultados superiores en la terapia dual frente a la monoterapia.

La combinación de tecnologías regenerativas potencia los efectos del láser, favoreciendo la reorganización del colágeno y la restauración

funcional de la piel. Además, la percepción subjetiva del paciente fue más favorable con la terapia combinada, lo que refuerza su valor clínico en contextos estéticos y reconstructivos.

Este enfoque ambulatorio y mínimamente invasivo representa una alternativa prometedora frente a tratamientos convencionales que requieren alta adherencia o implican procedimientos quirúrgicos. No se reportaron efectos adversos graves, lo que respalda su perfil de seguridad.

Se recomienda ampliar el número de sesiones, incorporar seguimiento a largo plazo y realizar estudios multicéntricos con mayor tamaño muestral para validar estos hallazgos y establecer protocolos estandarizados en el manejo de cicatrices por quemaduras.

Referencias

1. World Health Organization. Burns. 2018. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/burns>
2. Brusselaers N, Monstrey S, Snoeckx A, et al. Burn scar assessment: a systematic review of tools. *Burns*. 2010;36(5):629–39.
3. Gauglitz GG, Korting HC, Pavicic T, Ruzicka T, Jeschke MG. Hypertrophic scarring and keloids: pathomechanisms and current and emerging treatment strategies. *Mol Med*. 2011;17(1–2):113–25.
4. Lee Y, Kim S, Kim S, et al. Risk factors and treatment outcomes for keloids and hypertrophic scars. *Arch Plast Surg*. 2021;48(1):1–9.
5. Reinke JM, Sorg H. Wound repair and regeneration. *Eur Surg Res*. 2012;49(1):35–43.
6. Atiyeh BS, Costagliola M, Hayek SN. Burn prevention mechanisms and outcomes: pitfalls, failures and successes. *Burns*. 2009;35(2):181–93.
7. Anzarut A, Olson J, Singh P, Rowe BH, Tredget EE. The effectiveness of pressure garment therapy for the prevention of abnormal scarring after burn injury: a meta-analysis. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2009;62(1):77–84.
8. Bai X, Wang C, Zhang L, et al. Effectiveness of intense pulsed light therapy for hypertrophic scars and keloids: a meta-analysis. *Dermatol Ther*. 2020;33(6):e14019.
9. Vrijman C, van der Veen JP, van der Wal AC, et al. Intense pulsed light for hypertrophic scars and keloids: a systematic review. *Lasers Med Sci*. 2011;26(6):803–7.



10. Zuccaro J, Guerin RJ, McDonald M, et al. Intense pulsed light therapy for burn scars: a systematic review. *Burns*. 2022;48(3):580–9.
11. Choi JY, Kim JH, Kim YS, et al. Fractional CO₂ laser treatment for burn scars: a systematic review. *Lasers Surg Med*. 2020;52(1):1–9.
12. Zhang B, Wang M, Gong A, et al. HucMSC-exosome mediated-Wnt4 signaling is required for cutaneous wound healing. *Stem Cells*. 2015;33(7):2158–68.
13. Kim H, Mun J, Kim M, et al. Therapeutic effects of stem cell-derived exosomes in skin wound healing. *Cell Tissue Res*. 2022;387(2):267–75.
14. Chen CY, Rao SS, Ren L, et al. Exosomes in cutaneous wound healing. *Front Cell Dev Biol*. 2021; 9:718605.
15. Waibel JS, Wulkan AJ, Rudnick A. Treatment of hypertrophic scars using laser and laser-assisted corticosteroid delivery. *Dermatol Surg*. 2016;42(9):1037–45.
16. Tierney EP, Hanke CW. Ablative fractionated CO₂ laser treatment of photoaging: a clinical and histologic study. *Dermatol Surg*. 2011;37(9):1269–78.
17. Hultman CS, Friedstat JS, Edkins RE, et al. Prospective randomized controlled trial of laser therapy for burn scars: impact on quality of life and scar appearance. *Plast Reconstr Surg*. 2014;134(3):536–46.
18. Willows BM, Ilyas M, Sharma A. Laser treatment of burn scars. *Burns*. 2017;43(5):939–49.
19. Hultman CS, Edkins RE, Lee CN, et al. Ablative fractional CO₂ laser for burn scar contractures: a prospective, randomized, controlled trial. *J Burn Care Res*. 2014;35(1):25–34.
20. Klinger M, Marazzi M, Vigo D, Torre M. Fat grafting for treatment of scars. *Clin Plast Surg*. 2015;42(2):345–53.
21. Gentile P, Garcovich S. Adipose-derived stem cells (ADSCs) and stromal vascular fraction (SVF) for skin anti-aging: a review. *Dermatol Ther*. 2019;32(5):e12983.
22. Théry C, Witwer KW, Aikawa E, et al. Minimal information for studies of extracellular vesicles 2018 (MISEV2018): a position statement. *J Extracell Vesicles*. 2018;7(1):1535750.
23. Kalluri R, LeBleu VS. The biology, function, and biomedical applications of exosomes. *Science*. 2020;367(6478):eaau6977.
24. Munir N, Ali H, Riaz S. Exosomes in skin regeneration and wound healing: a review. *J Cosmet Dermatol*. 2022;21(3):1010–7.
25. Zhang Y, Bi J, Huang J, et al. Exosome: a review of its classification, isolation techniques, storage, diagnostic and targeted therapy applications. *Int J Nanomedicine*. 2020; 15:6917–30.
26. Draaijers LJ, Tempelman FR, Botman YA, et al. The Patient and Observer Scar Assessment Scale: a reliable and feasible tool for scar evaluation. *Plast Reconstr Surg*. 2004;113(7):1960–5.
27. Li-Tsang CW, Zheng YP, Lau JC. A randomized clinical trial to study the effect of silicone gel dressing and pressure garment on postburn hypertrophic scars. *Burns*. 2010;36(5):683–9.
28. Manuskiatti W, Fitzpatrick RE. Treatment response of keloidal and hypertrophic sternotomy scars: comparison among intralesional corticosteroid, 585-nm pulsed dye laser, and combined treatment. *Arch Dermatol*. 2002;138(9):1149–55.
29. Hultman CS, Friedstat JS, Edkins RE, et al. Laser resurfacing and remodeling of hypertrophic burn scars: a review. *Ann Plast Surg*. 2013;70(5):521–8.
30. Lee SJ, Kim JH, Lee SH, et al. Fractional CO₂ laser treatment for striae distensae: a prospective study. *Lasers Surg Med*. 2010;42(3):192–9.
31. Elsaie ML. Cutaneous remodeling with fractional CO₂ laser for striae distensae. *Dermatol Surg*. 2009;35(1):59–62.
32. Manuskiatti W, Triwongwaranat D, Varothai S, et al. Treatment of atrophic acne scars with fractional ablative CO₂ laser: a randomized controlled trial. *J Dermatolog Treat*. 2013;24(3):230–7.
33. Kim WS, Lee SJ. Fractional CO₂ laser resurfacing for acne scars: a clinical study. *J Cosmet Laser Ther*. 2009;11(2):110–3.
34. Karmisholt KE, Haedersdal M. Fractional ablative CO₂ laser resurfacing for burn scars: a systematic review. *Burns*. 2015;41(4):621–8.
35. Tierney EP, Hanke CW. Ablative fractionated CO₂ laser treatment of hypertrophic scars: