

## Tratamiento de las lesiones pigmentarias melanocíticas y no melanocíticas con láser *Q-switched* de picosegundos

Fabián Pérez Rivera

«Todas las personas, independientemente de la edad, sexo o raza, presentan lesiones pigmentarias benignas de la piel».

«Muchas de ellas se vuelven indeseables para los individuos portadores y consultan para su eliminación o tratamiento».

### INTRODUCCIÓN

Para fines del presente capítulo definiremos las melanodermias como intensificaciones del color de la piel debido a pigmentación melánica excesiva, causada por el aumento en la producción, tamaño o la melanización de los melanosomas<sup>1</sup> (Tabla 1).

Independientemente del origen de la hiper-melanosis, muchas lesiones comúnmente denominadas «manchas» son de consulta frecuente en el consultorio del especialista para su tratamiento.

El melanosoma tiene un tamaño entre 0.5 y 1.0 micrones y es uno de los cromóforos blanco que absorbe las longitudes de onda de los sistemas láser y luz pulsada usados para tratar lesiones pigmentarias melanocíticas<sup>1</sup>.

La variedad de tratamientos descritos para atenuarlas o eliminarlas son múltiples, y abarcan desde medicamentos (p. ej., ingesta de inhibidores de melanización) hasta tratamientos físicos (p. ej., dermoabrasión), físico-lumínicos (p. ej., láser) y químicos (p. ej., *peelings*).

La melanina inserta dentro del melanosoma tiene un espectro amplio de absorción de las longitudes de onda lumínicas dentro de las radiaciones electromagnéticas, lo que le permite ser sensible a la acción de múltiples tipos de láser.

De igual manera, los láseres buscan también otros elementos cromoafines: las lesiones pigmentarias no melanocíticas. Dentro de ellas desarrollaremos más adelante las hemosiderosis y los tatuajes.

Las tecnologías láser se han utilizado ampliamente para tratar las lesiones pigmentarias epidérmicas y dérmicas benignas desde el comienzo de sus primeras implementaciones en dermatología.

Mientras que para tratar las melanodermias existen numerosos y diferentes tratamientos, cada uno de ellos con entusiastas y detractores, hoy nadie dudaría de que el único tratamiento indicado para borrar tatuajes es la tecnología láser, especialmente los láseres *Q-switched* (QS). Teniendo esto en cuenta y considerando la amplia experiencia del autor, con más de 1,200 tatuajes tratados, el tratamiento de los tatuajes tendrá un apartado dentro de este capítulo.

En este capítulo abarcaremos un espectro específico dentro espectro electromagnético: el láser *Q-switched* de picosegundos (QSP).

### HISTORIA Y MECANISMO DE ACCIÓN

El sistema QS fue descubierto en 1958 por Gordon Gould, pero no fue hasta 1961 cuando Hellwarth y McClung demostraron su acción terapéutica con un láser de rubí, y fue popularizado tiempo después, en 1989, a través de una publicación de tratamiento de lesiones pigmentarias por medio de un láser QS por Rox Anderson, et al.<sup>2</sup>.

El sistema QS consta de un dispositivo que se coloca dentro de la cavidad láser o resonador. Este sistema incluye la polarización de un filtro

**Tabla 1. Lesiones pigmentarias melanocíticas tratables con láser QSP**

Melasma
Nevus bilateral mácular adquirido tipo Ota (ABNOM)
Lentigos
Eférides
Queratosis pigmentadas
Manchas café con leche
Máculas de Hori
Nevo de Ota
PPI

para bloquear temporalmente el paso de los fotones que se generan al estimular el elemento físico productor de las longitudes de onda electromagnéticas (p. ej., el rubí). Este elemento (rubí, alejandrita o granate de itrio y aluminio dopado con impurezas de neodimio [Nd:YAG]) se mantiene en un estado altamente excitado y luego una señal eléctrica cambia la polaridad del filtro por un tiempo extremadamente corto –nanosegundos o picosegundos–, permitiendo el rápido paso del haz de luz generado (ondas electromagnéticas) y consiguiendo de esta forma un haz extremadamente corto, rápido y potente.

Un ejemplo para poder entender esto es un dique conteniendo una represa. Se deja acumular el agua hasta que en algún momento se abre rápidamente una pequeña puerta para liberar parte del contenido. El chorro de agua que saldrá por esa pequeña puerta tendrá una alta velocidad y gran potencia.

El tratamiento láser clásico de las lesiones pigmentarias, melanocíticas y no melanocíticas (pigmentos exógenos o sintéticos), se fundamentaba en el principio de fototermólisis selectiva descrito por Anderson y Parrish en 1983: un elemento blanco o cromóforo (molécula que absorbe energía lumínica), melanina o tinta de tatuaje por ejemplo, absorbe la longitud de onda lumínica emitida a una velocidad de milisegundos transformando esa absorción lumínica en incremento de la temperatura, lo que genera el efecto terapéutico<sup>2</sup>.

Este efecto terapéutico a nivel de las lesiones pigmentarias se traducía en una destrucción de la melanina o elemento cromóforo. Esta acción provocaba un incremento de su temperatura,

que a su vez irradiaba ese incremento de temperatura a los tejidos circundantes.

Ese incremento de temperatura en los tejidos circundantes podía tener efectos beneficiosos o terapéuticos como la estimulación del fibroblasto, y de esta manera generar un incremento en la producción de colágeno, elastina y sustancia fundamental (fotorrejuvenecimiento), o en algunos casos ser responsable de complicaciones o efectos adversos: pigmentación postinflamatoria (PPI) y cicatrices.

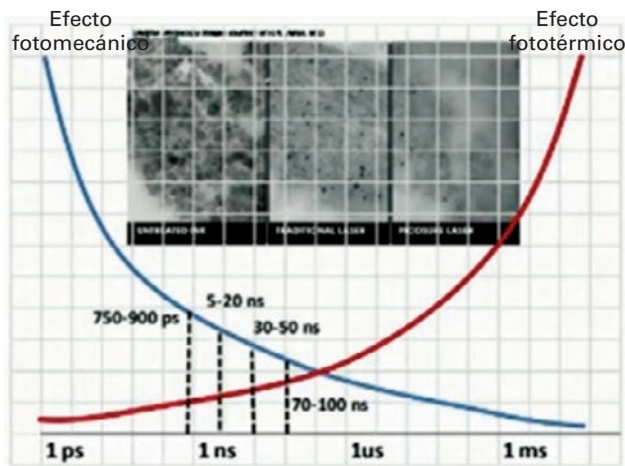
Según la teoría de la fototermólisis selectiva, los efectos fototérmicos aumentan cuando los cromóforos reciben longitudes de onda electromagnéticas y transforman en aumento térmico igual o por encima de su tiempo de relajación térmica. De esta manera se logra una mayor lisis del cromóforo, pero también una mayor irradiación del efecto térmico a los tejidos circundantes.

La duración de pulsos de ondas electromagnéticas muy cortos, como la de los láseres QS, permite un daño térmico óptimo y dirigido a los melanosomas, dado que su tiempo de relajación térmica es entre 50 y 250 nanosegundos. Así pues, cuanto más corto es el pulso, más se aleja del umbral de relajación térmica y más puro es su efecto fotoacústico o fotomecánico y menor su efecto fototérmico. Todo esto sustenta el mayor uso de los láseres QSP en vez de los láseres *Q-switched* de nanosegundos (QSN), en pos de obtener un menor efecto térmico y un menor índice de complicaciones o efectos adversos<sup>3</sup> (Fig. 1).

En 2002, Ho, et al., a través de simulaciones de tratamiento en una computadora, determinaron que el tiempo de relajación térmica de las tintas de tatuaje tenían un promedio de 10 nanosegundos, y por lo tanto cualquier tipo de láser que busque eliminar esas tintas debería actuar por debajo de ese tiempo. También determinaron que el tiempo ideal de un láser para romper las moléculas de tinta debería ser de 10 a 100 picosegundos<sup>4</sup>.

En 2012 la *Food and Drug Administration* (FDA) autorizó el uso del láser QSP con fines terapéuticos médicos. Específicamente se trataba de un láser QSP de alejandrita, dentro del rango de los 755 nm, y su indicación fue precisamente para el tratamiento de lesiones pigmentarias y tatuajes.

Esta velocidad de acción, subnanosegundo, es decir, un billón de veces más rápido que un segundo, en el rango de los 375 a 750 picosegundos, además de generar mejores resultados



**Figura 1.** Comparación entre tecnologías QSN y QSP. Cuanto más veloz (picosegundos) es la emisión de un haz de luz láser, más corto en unidad de tiempo, mayor será su efecto fotomecánico (línea azul, borde izquierdo de la imagen) y menor su efecto fototérmico (línea roja, borde izquierdo de la imagen). Inversamente proporcional sería si la emisión del haz de luz láser fuera menos veloz (nanosegundos), con menor efecto fotomecánico (línea azul, borde derecho de la imagen) y con mayor efecto fototérmico (línea roja, borde derecho de la imagen) (imagen cortesía de Lutronic). ps: picosegundos; ns: nanosegundos; us: microsegundos; ms: milisegundos.

terapéuticos (ruptura de las partículas de los pigmentos en menor tamaño y así facilitar su eliminación por sistema macrofagocitario), también disminuye sus efectos adversos (menor cantidad de PPI, leucodermias y cicatrices) dado su escaso efecto térmico o de fotocoagulación<sup>5</sup>.

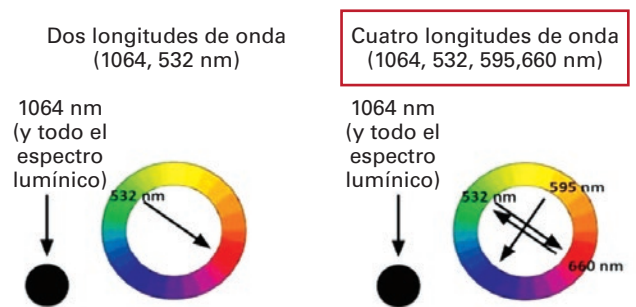
Para entender las ventajas del láser QSP sobre el láser QSN debemos recordar la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia (vatios)} = \frac{\text{energía (julios)}}{\text{Duración del pulso (segundos)}}$$

«La potencia es inversamente proporcional a la duración del pulso»: los pulsos más rápidos (más cortos) generan mayor potencia por sí mismos. A igual julio emitido en tiempos más cortos, más potencia.

En un trabajo de Lorgeou de 2017 se llevó a cabo una comparación entre la efectividad del láser QSN y la del QSP. El autor tomó 49 tatuajes, tratando la mitad con un láser QSN y la otra mitad con uno QSP, poniendo como sesión límite el momento de conseguir un aclaramiento del 75% en alguna de las partes de los tatuajes. Al finalizar consiguió un 75% de aclaramiento del tatuaje en el 34% de las mitades tratadas con láser QSP, en contraposición a un 9% de aclaramiento obtenido en la mitad tratada con láser QSN<sup>6</sup>.

Dependiendo de la fuente generadora del haz de luz láser, los diferentes láseres tendrán una o



**Figura 2.** Afinidad de longitudes de onda espectro electromagnético en diferentes cromóforos. Mientras que la mayoría de los láseres QSP manejan una o dos longitudes de onda, y por lo tanto tienen afinidad por un acotado espectro de cromóforos afines y en consecuencia son pocos los colores que pueden llegar a abarcar o ser efectivos en el tratamiento de borrado de tatuajes (figura de la izquierda), los láseres QSP con mayor cantidad de longitudes de onda podrán abarcar mayor cantidad de cromóforos y por lo tanto ser más efectivos en una amplia variedad de colores de los tatuajes (figura de la derecha) (imagen cortesía de Lutronic). nm: nanómetros

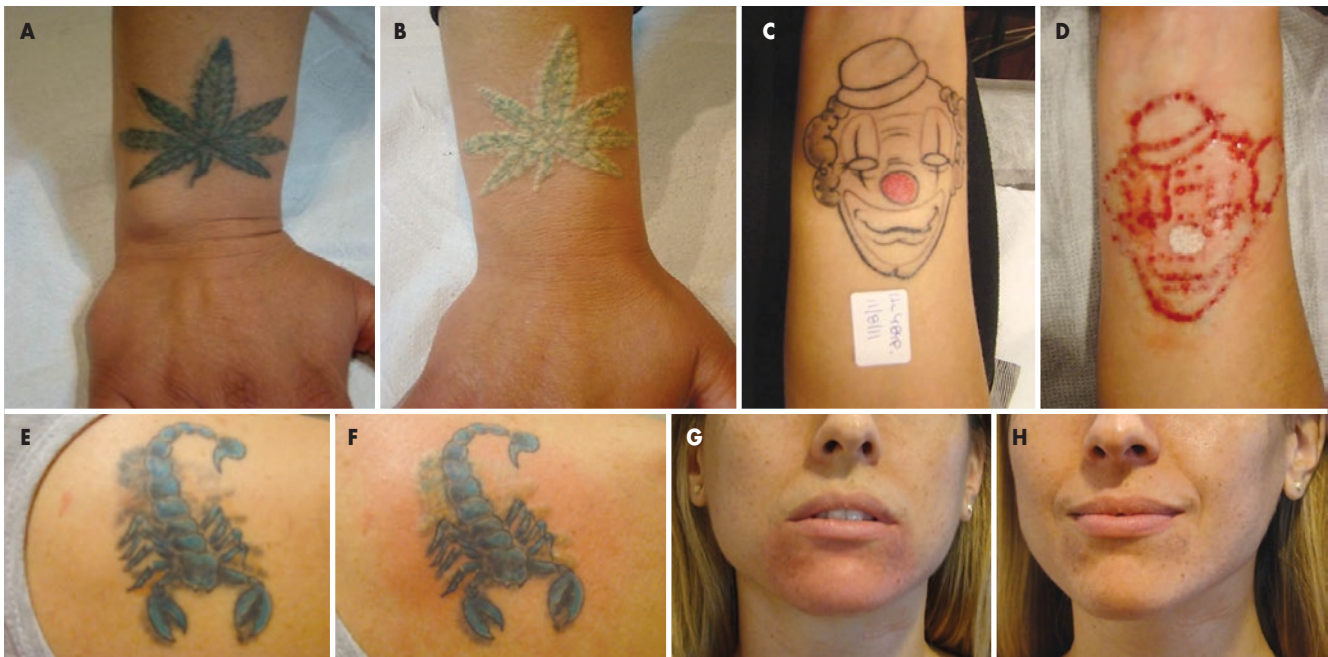
dos longitudes de onda (rubí, 695 nm; alejandrita, 755 nm, y Nd:YAG, 1,064 y 532 nm), y por lo tanto mayor afinidad por un grupo reducido de cromóforos. Algunos láseres QSP agregan a su plataforma cabezales *dye* (láseres colorantes) que modifican la longitud de onda del haz de luz original, permitiendo así una mayor afinidad a mayor cantidad de cromóforos, ampliando la gama de colores que pueden tratar (Fig. 2).

Una vez alcanzadas por el láser QS, las partículas melanocíticas, de hemosiderina o de las tintas del tatuaje fracturadas son eliminadas mediante eliminación transepidérmica (sólo las partículas melanocíticas más superficiales y pequeñas), fagocitosis y drenaje linfático (única forma de eliminar las partículas de los tatuajes)<sup>1</sup>.

## ENDPOINTS O PARÁMETROS DE EFECTO TERAPÉUTICO EXITOSO

Para estar seguros que hemos administrado las longitudes de onda láser suficientes para tener un beneficio en nuestros pacientes nos valemos de *endpoints* o parámetros de efecto terapéutico. En el caso de la aplicación de un láser QSP éstos consistirán en:

- *Frosting*. Tono blanquecino inmediato de la piel de la zona tratada por interrupción de los queratinocitos, provocado por microburbujas a partir del efecto fotoacústico.
- *Petequias*. Ruptura de pequeños capilares que dan una imagen inmediata purpúrica en la zona tratada.



**Figura 3.** Endpoints o parámetros de eficacia. Para estar seguros de que la energía emitida por el láser QSP ha sido absorbida en suficiente cantidad para generar un cambio o beneficio en las zonas tratadas nos valemos de ciertos parámetros que nos avisan que hemos logrado nuestro objetivo. **A y B:** antes e inmediatamente después de aplicación de láser QSP. Frosting. **C y D:** antes e inmediatamente después de aplicación láser QSP. Petequias. **E y F:** antes e inmediatamente después de aplicación de láser QSP. Cambio de color. **G y H:** inmediatamente después de aplicación láser QSP. Eritema.

- Cambio de color de la zona tratada. En general, las lesiones melanocíticas, las mediadas por hemosiderina y algunos tatuajes se aclaran levemente en el momento de la aplicación.
- Enrojecimiento. *Endpoint* buscado cuando tratamos lesiones melanocíticas mediante láser *toning*.

Todos estos parámetros nos dan la tranquilidad de que el haz de luz ha sido emitido y absorbido en la suficiente cantidad y potencia para romper la melanina o la tinta (Fig. 3).

## LESIONES MELANOCÍTICAS

Existe una amplia variedad de lesiones melanocíticas benignas abarcadas por el láser QSP es múltiple. En numerosos trabajos publicados, tanto experimentales como clínicos, se ha evidenciado el beneficio del uso de los láseres QS en el tratamiento de las lesiones melanocíticas benignas<sup>3,7,8</sup>. Sin embargo, en varios estudios se ha demostrado que el uso de láseres QSN para tratar lesiones pigmentadas de la piel, y en general en pacientes con pieles Fitzpatrick alto (IV-V), está asociado con un alto riesgo de PPI de hasta un 25% de los casos<sup>9</sup>.

A través del uso del láser, y en especial con láseres con sistema QS con baja potencia, se llegaba a lograr una fototermólisis subcelular

selectiva con mejoras en los cuadros de melasma. A diferencia del láser QSN, el QSP tiene menor índice de recidiva y de efecto paradójal –reaparición de la hiperpigmentación y en algunos casos con mayor incremento en la pigmentación– así como disminución de otros efectos adversos como leucodermias, PPI y cicatrices<sup>10-12</sup>.

El haz de radiación electromagnética generado por el láser y emitido con intensa potencia en tan corto lapso de tiempo es absorbido por el cromóforo (melanina) y se expande explosivamente, generando una intensa vibración (ondas acústicas) en el melanosoma que lo induce a romperse en múltiples pequeñas partículas de escasos nanómetros de diámetro, facilitando así el trabajo de los macrófagos en su digestión y eliminación por el sistema linfático. Esto se conoce como fenómeno fotomecánico o fotoacústico<sup>5</sup>.

Los láseres QSN, aunque también generan un efecto fotoacústico, su velocidad de acción por encima de los picosegundos todavía provoca una transferencia térmica a los tejidos circundantes de tal magnitud que podría provocar un mayor porcentaje de efectos adversos y complicaciones<sup>13</sup>.

Una forma de evitar el efecto paradójal, mayor pigmentación de la original del paciente después de un tratamiento, y prolongar el tiempo



**Figura 4.** Lesiones pigmentarias melanocíticas. En la tabla 1 se muestra la lista completa de las lesiones abarcadas por el láser QSP. Ejemplificamos mostrando casos de distintas lesiones. **A y B:** lentigos solares múltiples. Resultado después de cuatro sesiones de láser QSP. **C y D:** nevo de Ota. Resultado después de 15 sesiones de láser QSP. **E y F:** melasma temporomalar. Resultado después de cuatro sesiones de láser QSP. **G y H:** melasma frontomalar. Resultado después de cuatro sesiones de láser *toning* con láser QSP.

hasta la reaparición de la hiperpigmentación es usar el concepto del láser *toning*: bajas potencias de fluencia (p. ej., 1.5-3 J/cm<sup>2</sup>), puntos focales grandes (p. ej., 8-10 mm) sobre la piel afectada en múltiples y rápidos pases, y realizar el tratamiento en un promedio de 6-8 sesiones semanales o quincenales. Lo que se busca con ello es enviar «bajas dosis» de láser QS que provocan la fragmentación de los gránulos de melanina dentro de los melanosomas con el mínimo efecto térmico, evitando así una sobreestimulación del melanocito y una mayor producción de melanina posterior a la estimulación<sup>7</sup>.

Dentro de las lesiones melanocíticas cabe mencionar algunas que han demostrado una muy buena respuesta al tratamiento con el láser QSP en comparación con otros tratamientos convencionales. Estas lesiones son el melasma, nevo de Ota, lentigos, manchas café con leche y ojeras (*infraorbital dark circles*). En numerosas bibliografías se avalan los resultados en base con mejores resultados y menores efectos adversos<sup>14-22</sup> (Fig. 4).

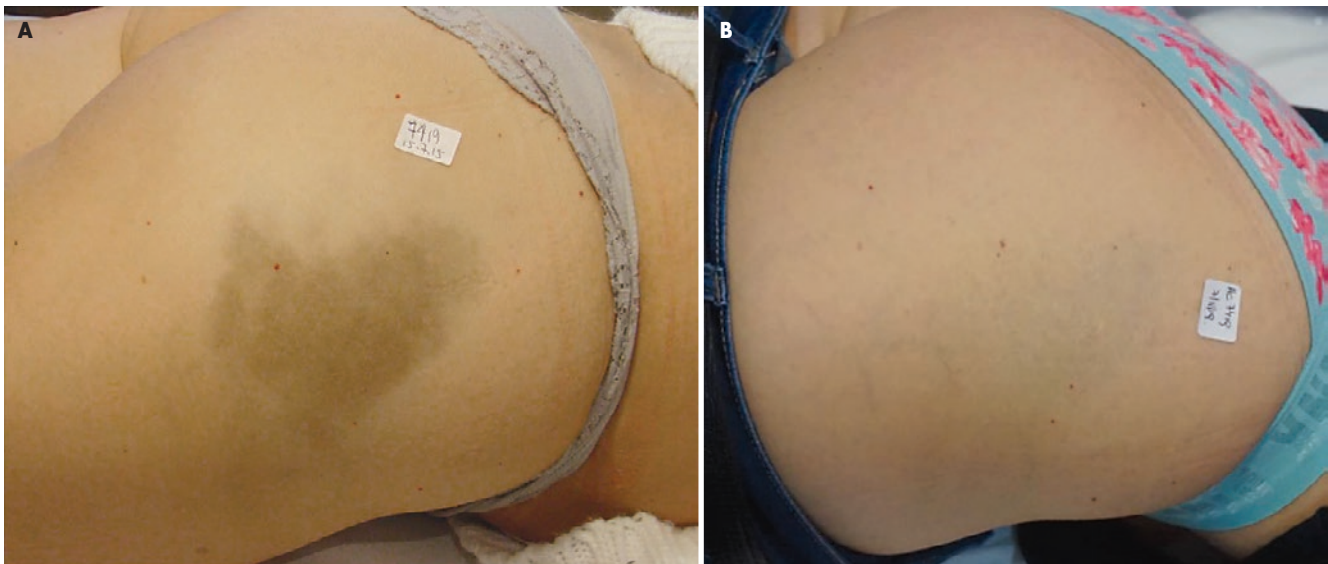
Entre las lesiones melanocíticas por las cuales nos consultan los pacientes para su remoción

se encuentran los nevos. Como médicos sabemos que algunos nevos pueden llegar a malignizar, razón por la cual deben ser estudiados previamente y descartar del tratamiento todo aquel que tenga alguno de los parámetros de malignización que lleve a dudas o que requiera de seguimiento, dado que al tratarlos estaríamos perdiendo algunos de los patrones de alarma temprana de malignización.

## HEMOSIDEROSIS LOCALIZADA

Hemos mencionado las hiperpigmentaciones mediadas por la hipermelanosis, pero no hay que olvidarse de otro importante pigmento que contribuye a dar color a la piel: la hemoglobina.

La extravasación del hierro que compone la hemoglobina por trauma de los vasos o las inyecciones de hierro, y su posterior acumulación en los tejidos, puede dar lugar a su transformación en hemosiderina, un pigmento de tono amarillento parduzco. De esta forma se transforma en una pigmentación permanente de la piel de muy difícil resolución y que en la



**Figura 5.** Hemosiderosis localizada por aplicación de hierro intramuscular en glúteo. **A:** imagen pretratamiento. Típica imagen irregular amorronada-grisácea. La paciente ya se había realizado tratamiento a base de peelings sin éxito. **B:** imagen después de cuatro sesiones de láser QSP y control al año del tratamiento.

actualidad sólo responde correctamente al tratamiento mediante láser QS<sup>6</sup> (Fig. 5).

## TATUAJES

«No hay tatuaje con alto significado y/o en zona expuesta que no genere arrepentimiento por parte de su portador».

«Todos tenemos derecho a arrepentirnos. La vida nos transforma».

El tatuaje más antiguo del que se tiene noticia en la actualidad es el de un cazador del Neolítico del 5300 a. de C., el cual se encontró en 1991. Esta momia, enterrada en un glaciar en la frontera entre Austria e Italia, poseía 57 tatuajes en la espalda, se conoce como el «Hombre de Hielo» y es el cadáver humano con piel más antiguo que se ha encontrado<sup>23</sup>.

En la actualidad muchas personas disfrutan decorando su cuerpo mediante tatuajes. Colocan pigmentos exógenos en la piel para expresar un mensaje o por simple ornamento.

Todo aquel pigmento colocado a nivel epidérmico será eliminado en el lapso que tome la renovación cutánea habitual, pero aquellos pigmentos que sean colocados a nivel de la dermis tenderán a ser permanentes.

Desde el mismo momento en que ese pigmento es colocado a nivel dérmico comienza una reacción a cuerpo extraño del sistema inmune a través de los macrófagos. Las partículas de tinta más pequeñas podrán ser fagocitadas

por nuestros macrófagos con el correr del tiempo, de meses a años, y ser vehiculizadas a través del sistema linfático. Algunas partículas, las más grandes, quedarán atrapadas en nuestros filtros linfáticos naturales, los ganglios linfáticos, y otras pasarán ese filtro y serán excretadas a través de la orina. Las moléculas de tinta con mayor diámetro permanecerán en nuestra dermis dada la imposibilidad de nuestros macrófagos de poder fagocitarlas y vehiculizarlas<sup>24</sup>.

En esta explicación también radica el objetivo del tratamiento con láser QS para borrar tatuajes: romper las moléculas de tinta en tamaños de menos de 60 micrones de diámetro, permitiendo así a nuestros macrófagos cumplir más fácilmente su función. Cabe remarcar que cuanto mayor efecto fotoacústico, láseres QSP, mayor fraccionamiento en moléculas de menor tamaño y, por lo tanto, más fácil y más rápida será su eliminación<sup>25</sup>.

La fuente de pigmento más usada en la historia, y que todavía se usa hoy en los tatuajes *amateurs*, es el carbón vegetal. Este pigmento era y sigue siendo ingresado en la piel a través de elementos punzantes habituales no profesionales, como las agujas de coser.

En la actualidad, los tatuadores profesionales utilizan máquinas especiales que introducen el pigmento elegido a diferentes profundidades seleccionadas por el tatuador calculando estar en el espesor de la dermis para asegurarse su permanencia y perpetuidad.

Los colores profesionales usados hoy en día tienen diferentes fuentes minerales, como el hierro (negro, marrón), cromo (verde), cobalto (azul), titanio (blanco) y cinabrio (rojo).

Dependiendo de la profundidad en que se encuentren, la cantidad de pigmento, el color de la piel y el paso del tiempo, los tatuajes con base de color negro pueden llegar a verse con tonos negros, grises, azulados o incluso verdosos. Por eso, en el momento de elegir el parámetro láser a usar es de vital importancia consultar con el paciente el color original con el que el tatuaje fue confeccionado.

Aunque en estudios realizados con simulación en computadoras se indica que el fenómeno fotoacústico ideal para no generar efectos adversos estaría en el orden de los 10 a 100 picosegundos, los láseres QSP que se comercializan en la actualidad trabajan en el orden de los 350 a 750 picosegundos<sup>26</sup>.

Torbeck, et al. realizaron un trabajo comparativo entre láseres de picosegundos y láseres de nanosegundos. Analizaron 41 trabajos publicados entre 1988 y 2017 sobre láseres de picosegundos, y concluyeron que los láseres de picosegundos resultaron más eficaces que los láseres de nanosegundos para la eliminación de tatuajes, reduciendo el número de sesiones promedio, disminuyendo los efectos adversos y aumentando el porcentaje de aclaramiento de los tatuajes<sup>27</sup>.

Cabe mencionar que algunos autores han demostrado resultados exitosos asociando láseres QS, tanto QSN como QSP, con láseres ablativos como coadyuvante en tratamientos de remoción de tatuajes<sup>28,29</sup>.

## Estadísticas

Para adentrar en el tema y darnos cuenta de la magnitud del «problema tatuaje», es importante estar en conocimiento de los siguientes datos estadísticos:

- Según datos aportados por la Asociación Americana de Cirujanos Plásticos, en 2012 había un total de 45 millones de norteamericanos con al menos un tatuaje, y de éstos el 20% dijo estar arrepentido y buscó como mejorarlo o eliminarlo. Tan sólo entre 2014 y 2015 se incrementaron un 39% los tratamientos para borrar tatuajes en EE.UU.<sup>30</sup>. En 2016, el porcentaje de la población estadounidense tatuada ya

había aumentado, abarcando el 30-40% de la población entre 26 y 40 años<sup>31</sup>.

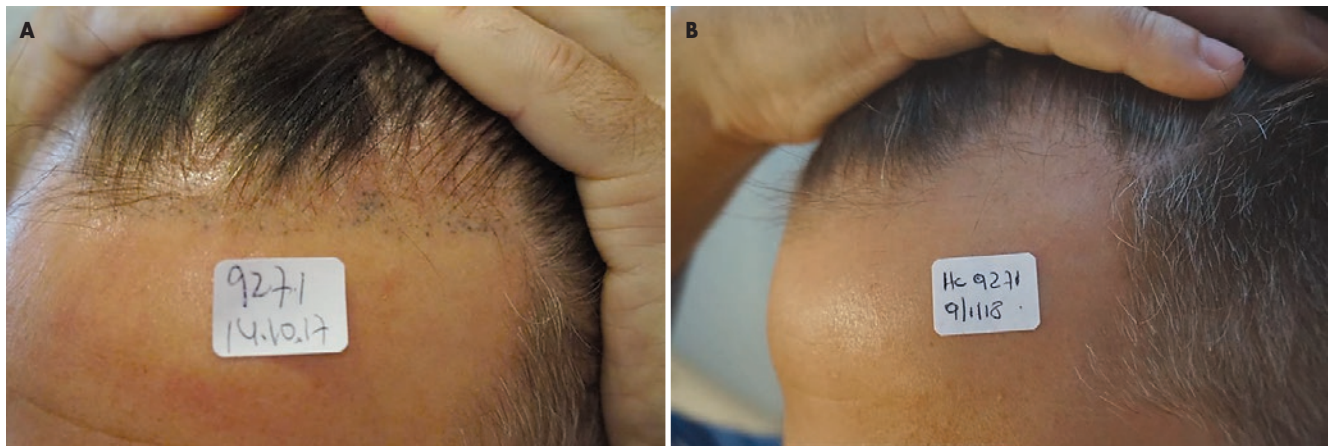
- En una encuesta realizada por el autor entre agosto de 2017 y diciembre de 2019 a 713 pacientes propios que consultaron para borrar tatuajes, se obtuvieron los siguientes datos: la gran mayoría eran mujeres (60%), con un promedio de edad de 30 años; la mayoría de los tatuajes eran profesionales (90% de los casos); el 10% de los tatuados se arrepintió durante el primer año de habérselo realizado y el 52% entre los primeros meses y los cinco años; el 53% adujo que la principal razón para querer borrarse el tatuaje era estar disconforme por cómo fue hecho, el 19% por razones laborales y el 14% por cambio de pareja; el color más usado fue el negro (60% de los casos), seguido por el multicolor (más de tres colores en un mismo tatuaje) (19% de los tatuajes); y el área corporal más tatuada fue el brazo (17% de los casos), aunque si sumamos todo el miembro superior (brazo, antebrazo, muñeca y mano) nos da un 33% del total de las áreas tatuadas; es decir, uno de cada tres tatuajes se hace sobre dicha zona.
- Datos más actuales aportados por la consultora Dalia<sup>32</sup>, después de realizar una encuesta en abril de 2018 sobre 9,054 encuestas vía email en 18 países, nos informan de que el 38% respondió tener al menos un tatuaje; de éstos, el 28% estaba arrepentido; el 45% contestó tener entre 30 y 49 años, la mayoría mujeres y con un nivel educación superior (terciario o universitario).

Por todo lo expresado en estas estadísticas, el «problema tatuaje» es algo actual y que se va a ir incrementado con el tiempo, por lo que merece esta sección aparte.

## Tipos de tatuaje

Los tatuajes se clasifican en:

- *Amateur* o también llamados «casero»: se realiza introduciendo pigmentos en la piel en general con agujas de coser. El pigmento que se utiliza suele ser tinta de escritura, que es de origen vegetal (carbón vegetal) y tiene una mejor respuesta al tratamiento láser (Fig. 6).



**Figura 6.** Tatuaje *amateur* o casero: se confeccionan con tintas vegetales (carbón vegetal), son de uso domiciliario generalmente se usan agujas de coser o alfileres. Suelen ser los tatuajes de más fácil resolución. **A y B:** paciente al que le tatuaron puntos de tinta negra simulando sombra de pelo. Resultado con dos sesiones de láser QSP.

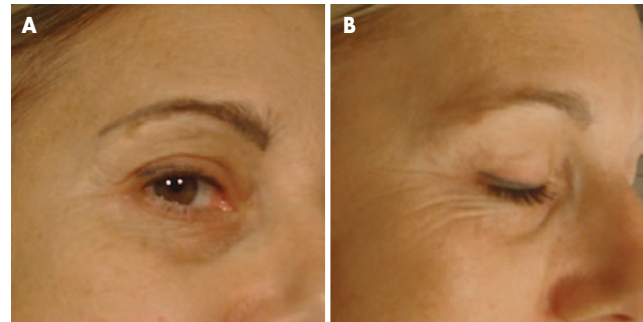
- Cosmético: puede ser a través de dermopigmentación (tatuaje punto por punto) o a través de *microblading* (pequeñas laceraciones en la piel en las cuales luego se coloca tinta) (Fig. 7).
- Traumático: ingreso en la piel de pigmentos (p. ej., asfalto, brea) al friccionar ésta sobre elementos con colorantes durante un accidente. El caso más frecuente es el de un accidente en moto o automóvil en el que la víctima fricciona parte de su cuerpo contra el asfalto de la calle, avenida o ruta (Fig. 8).
- Profesional: tatuadores que, por medio de máquinas especiales, introducen pigmentos frecuentemente de origen mineral (Fig. 9).

### Características del tratamiento y postratamiento de lesiones melanocíticas y no melanocíticas

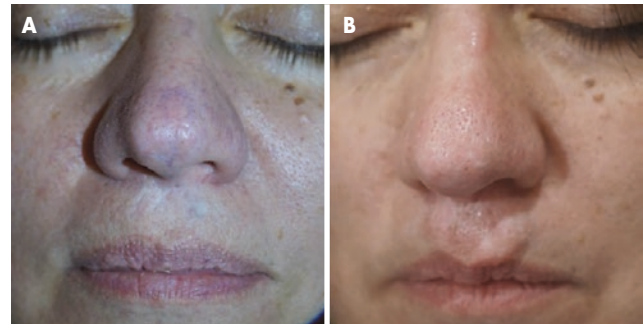
Mientras que en los tratamientos de las lesiones melanocíticas es raro sentir dolor y no es más que una sensación molesta, el borrado de los tatuajes genera intenso dolor. El nivel de ruptura de los pigmentos de la tinta provoca un gran fenómeno fotomecánico que genera dolor en el paciente.

La clásica advertencia al paciente antes de comenzar el tratamiento es: «duele hacerse un tatuaje, duele sacarse un tatuaje».

De todas formas, dado que somos médicos contamos con varios elementos para mitigar ese dolor: gel, packs fríos, equipos de aire frío a 4°, tópicos anestésicos y anestésicos inyectables.



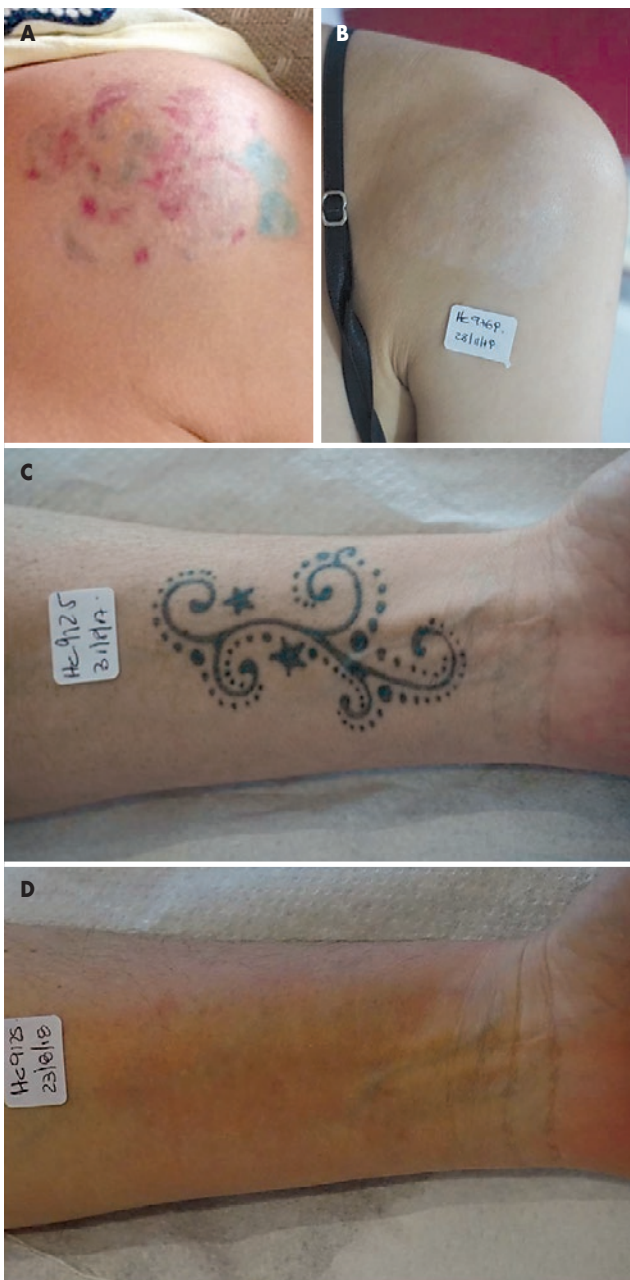
**Figura 7.** Tatuaje cosmético: ya sea con técnica punto por punto o por sistema *microblading*, el tono habitual es el negro a base de hierro en estado férrico; suele perder definición con el tiempo o pasar al estado ferroso (pardo rojizo), lo que lleva al arrepentimiento. **A y B:** dermopigmentación de cejas. Resultado antes y después de tres sesiones de láser QSP.



**Figura 8.** Tatuaje traumático: producto de la abrasión de la piel durante un accidente e incrustación de pigmentos exógenos. **A y B:** accidente en moto; al caer, se quedaron depósitos de asfalto en la punta nasal. Resultado con una sola sesión de láser QSP.

El tratamiento consiste en diversas sesiones. En 2009, Kirby y Desai propusieron una escala para poder predecir la cantidad de sesiones que llevaría poder borrar un tatuaje. Esta





**Figura 9.** Tatuajes profesionales: a base de pigmentos de origen mineral; son los que llevan más sesiones de tratamiento. **A y B:** imagen antes y después de nueve sesiones de láser QSP. Este paciente había recibido 12 sesiones en otro centro médico con láser QSN, donde le dijeron que no se podía eliminar los colores claros. Una de las particularidades de los láseres QSP es su mayor eficacia sobre los colores claros. **C y D:** imagen antes y después de siete sesiones con láser QSP. El negro es el color más fácil de eliminar. Un año exacto entre comienzo, finalizado y fotografía de control sin rastros del tatuaje.

escala establecía un valor numérico para diferentes variables (color de piel, colores de la tinta, capas de piel, cicatriz o cambio textural de la piel y cantidad de tinta), y la sumatoria de cada uno de los valores de estos ítems establecía un valor final del probable número de sesiones<sup>33</sup>.

El inconveniente de esta escala es que fue realizada con y para láseres QSN, y no con y para láseres QSP, dado que en 2009 todavía no se comercializaban los láseres QSP. Sabiendo que los láseres de picosegundos rompen el pigmento en moléculas más pequeñas, permitiendo una mejor y más rápida fagocitosis, y que en la actualidad hay láseres QSP con cuatro longitudes de onda, y que por lo tanto pueden abarcar más eficazmente todo tipo de color de tinta, esta escala se ha quedado en desuso o hay que modificarla para poder implementarla.

Mientras que el promedio de sesiones actuales con láser QSP para lograr aclarar lesiones melanocíticas está en el orden de las 4-6 sesiones, el promedio de sesiones para borrar un tatuaje profesional es de 6-8 sesiones. Cabe mencionar aquí que el autor ha usado un láser QSN durante siete años, obteniendo un promedio de 10 a 12 sesiones para poder borrar un tatuaje profesional. Mención aparte merecen los tatuajes de tipo *amateur*, que al usar tintas de origen vegetal (carbón vegetal) su remoción es más sencilla y rápida, logrando un borrado en un promedio de 3-4 sesiones tanto con láser QSN como QSP.

El tiempo de espera entre sesión y sesión es de 7 a 15 días en el tratamiento de las lesiones melanocíticas y de 30 a 45 días en el borrado de los tatuajes.

En todos los casos, ya sea por tratamiento de lesiones melanocíticas o para borrar tatuajes, se pide al paciente que realice curas húmedas durante el periodo postratamiento, lo cual implica humectar en forma constante la piel tratada con cremas humectantes o vaselina sólida.

En el caso del tratamiento para borrar tatuajes, se le pide también que lo cubra durante la primera semana postratamiento para evitar el roce con ropa u objetos, que podría provocar una laceración que podría dejar alguna marca.

En todos los casos, se pide el uso de protectores o protectores solares con factor de protección alto (factor de protección solar 50 [FPS 50] o más).

En los tratamientos de lesiones melanocíticas se suele indicar también el uso de inhibidores de la melanización a través de preparados tópicos a base de ácido tranexámico, ácido kójico, hidroquinona y ácido retinoico, solos o combinados.

Si el tratamiento consistió en borrar un tatuaje, se indicarán inhibidores de melanización en caso de aparecer PPI.



**Figura 10.** Reacción alérgica al pigmento rojo. Los pigmentos rojos se obtienen a partir del cinabrio, un mineral de la clase de los sulfuros compuesto por mercurio y azufre. Algunos pacientes tienen importantes reacciones alérgicas al componente de mercurio con hipertrofia cutánea, intenso prurito, trasudado, lesiones por rascado y en algunos casos reacción queloidea. **A:** imagen pretratamiento de un paciente que consulta para borrar exclusivamente el color rojo del tatuaje por el intenso prurito y las lesiones por rascado. **B:** después de seis sesiones con láser QSP, una cada 30-45 días, se logra eliminar gran parte del color rojo; paciente asintomático y con leve color eritematoso inflamatorio del área tratada. **C:** el paciente acude seis meses después de la última sesión para control. Se observa que pudo volver a tatuar el área afectada y tratada con tonos amarillos y naranjas, sin repetir el cuadro alérgico.

Dado que el láser QSP puede emitir mucha potencia pero con menos julios, dada su emisión en tiempos muy rápidos, la sensación de dolor suele ser menor que con láser QSN, al igual que es menor el tiempo de recuperación y, por lo tanto, también menor la frecuencia entre sesión y sesión: de promedio, 45-60 días con láser QSN y 30-45 días con láser QSP<sup>5</sup>.

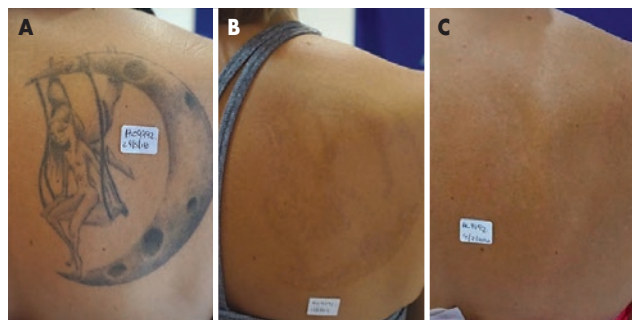
### Complicaciones de los tatuajes y de su tratamiento

Existen complicaciones inherentes al componente de algunas tintas, complicaciones inherentes al momento de la realización del tatuaje y otras complicaciones que se presentan durante el tratamiento.

Como en todo acto de lesión cutánea, en el momento de la realización del tatuaje se puede presentar: infección, hematoma, alergia al pigmento, cicatriz.

El cinabrio o cinabarita es un mineral de la clase de los sulfuros compuesto por mercurio y azufre que se utiliza para dar tonos rojizos. El componente mercurial de este pigmento es responsable de importantes reacciones alérgicas de los pacientes tatuados, provocando una reacción alérgica a la tinta exacerbando la reacción al cuerpo extraño. El paciente presentará en estos casos un intenso prurito, trasudado, cicatrización hipertrófica o queloide y lesiones por rascado. La única solución posible es realizar un tratamiento con láser QS o cirugía resectiva (Fig. 10).

Las complicaciones inherentes al tratamiento de borrado de tatuajes las podemos dividir en transitorias y permanentes.



**Figura 11.** Evolución de PPI después de haber finalizado un borrado de tatuaje. **A:** imagen previa al tratamiento. Tatuaje profesional, color negro en dorso con una antigüedad de tres años. **B:** eliminación total del color después de siete sesiones con láser QSP, una sesión cada 30-45 días. Se observa la PPI en la zona donde se encontraba el tatuaje. **C:** imagen de control 11 meses postratamiento y habiendo realizado aplicaciones tópicas de inhibidores de la melanización.

Entre las transitorias tenemos la presencia de ampollas y flictenas, costras, petequias y púrpura, y PPI. Todas remitirán en forma espontánea en un periodo de una semana aproximadamente, a excepción de la PPI, que puede tomar muchos meses, con o sin tratamiento adecuado (Fig. 11).

Las complicaciones permanentes son: cicatriz hipertrófica, cicatriz queloide y leucodermia.

Aunque hemos destacado que el efecto del láser QSP es mayoritariamente fotoacústico y muy poco de fotocoagulación, a diferencia del láser QSN, esa pequeña cantidad de efecto térmico en zonas más propensas a una mala cicatrización o cicatrización exagerada, como el dorso, los hombros y el tórax, puede llegar a presentar este tipo de complicaciones.

Otra posible complicación durante el tratamiento corresponde a una particularidad de



**Figura 12.** Cambio de color durante tratamiento con láser. Algunos tatuajes profesionales y algunos tatuajes cosméticos, dependiendo del componente mineral que contengan, cambian de color durante el tratamiento, lo que dificulta mucho su remoción. **A:** imagen antes de comenzar el tratamiento de borrado con láser QSP. La paciente concurrió a cosmetóloga para dermopigmentar cicatrices de una mastopexia; se arrepintió y solicitó su borrado. Se observa pigmento oscuro (hierro en estado férrico) en la areola y pigmento claro (titanio) sobre la cicatriz vertical. **B:** control al mes de la primer sesión, donde se observa el cambio de color pardo rojizo (hierro en estado ferroso) en la areola y tonos grisáceos en la cicatriz vertical.

alguno de los componentes de los pigmentos, como el hierro y el titanio. Los tatuajes con tonos rojizos, pardos marrones a base de hierro en estado ferroso, viran durante el tratamiento a tonos grisáceos. Lo mismo sucede con los pigmentos blanquecinos a base de titanio, que ante la aplicación del láser QS viran a tonos negruzcos y de muy difícil resolución. Hay que advertir de estos contratiempos a los pacientes antes de comenzar el tratamiento (Fig. 12).

Cabe destacar una peligrosa moda actual de algunos tatuadores: el tatuaje escleral. Consiste en colocar tinta a través de pequeñas agujas en la esclera conjuntival ocular. Esto puede provocar de forma inmediata la introducción inadvertida del pigmento dentro de la cavidad ocular o reacciones alérgicas tardías. En ambos casos las consecuencias son graves, y pueden llevar incluso a la amaurosis. A día de hoy, estos tatuajes no tienen solución<sup>34,35</sup> (Fig. 13).

## El futuro

Por todo lo descrito en este capítulo no cabrían dudas de pensar en el láser QSP como el *gold standard* o tratamiento a elegir si nuestra intención es tratar con un láser las lesiones pigmentarias melanocíticas y no melanocíticas con mayor eficacia, y menos efectos adversos y complicaciones.

Pero...

El Premio Nobel de Física del año 2018 fue compartido por tres físicos: el norteamericano



**Figura 13.** Tatuaje conjuntival. El paciente realiza consulta vía redes solicitando borrar con láser un tatuaje realizado en la conjuntiva ocular. Se le comunica que en la actualidad no existe una solución para su problema. No se puede aplicar láseres con longitudes de onda entre 500 y 1,200 nm, dado que serían absorbidas por los conos y bastones de la retina, lo que podría llevar al paciente a ceguera parcial o total.

Arthur Ashkin, por su labor en 1987 creando unas «pinzas de luz» que podían aislar bacterias sin dañarlas; Donna Strickland, canadiense, y Gerard Mourou, francés, por descubrir en 1985 «los pulsos de láser más intensos y rápidos de toda la historia». Obtuvieron los láseres femtosegundos ( $1 \times 10^{-15}$  s, es decir, 100,000,000,000,000 veces más rápido que un segundo) y el atosegundo ( $1 \times 10^{-18}$  s, es decir, 10,000,000,000,000,000 veces más rápido que un segundo).

Actualmente, el láser de femtosegundo ya tiene aplicaciones clínicas en cirugía oftalmológica, y es cuestión de tiempo que se logren aplicaciones clínicas dermatológicas.

### Perlas clínicas

- Todas las personas, independientemente de la edad, sexo o raza, presentan lesiones pigmentarias benignas de la piel. Muchas de ellas se vuelven indeseables para los individuos portadores, por lo que éstos consultan para su eliminación o tratamiento.
- Aproximadamente un cuarto de la población mundial tiene al menos un tatuaje, y al menos un cuarto de ellos se arrepentirá y buscará borrarlo en algún momento de su vida.
- Estas afirmaciones llevaron a los médicos y a la industria a buscar soluciones a estos problemas. Desde hace décadas las tecnologías médicas a través del uso de láseres han ayudado y han sido la solución en una gran mayoría de estos casos.

- El inconveniente venía aparejado con la falta de especificidad, los efectos adversos y las complicaciones.
- Los láseres QSN, una millonésima parte del segundo, fueron una primer gran solución a numerosas enfermedades pigmentarias melanocíticas y no melanocíticas, pero al tener un efecto foto-térmico importante y no mayoritariamente efecto fotoacústico, podían generar algunos inconvenientes, como reacciones paradójales y lesiones cicatrizales.
- Los láseres QSP, una billonésima parte del segundo, han logrado mejorar los resultados de esta tecnología y disminuir o anular los efectos adversos o paradójales.

### BIBLIOGRAFÍA

- Camps-Fresneda A, Moreno-Arias GA. Fundamentos del tratamiento de lesiones pigmentadas y tatuajes. En: Cisneros Vila JL, Camacho Martínez F. Láser y fuentes de luz pulsada intensa en dermatología y dermatocosmética. Ed. Amolca; 2002.
- Anderson RR, Margolis RJ, Watanabe S. Selective photothermolysis of cutaneous pigmentation by Q-switched Nd:YAG laser pulses at 1064, 532 and 355nm. J Invest Dermatol. 1989;93:28-32.
- Kung KY, Shek SY, Yeung CK, et al. Evaluation of the safety and efficacy of the dual wavelength picosecond laser for the treatment of benign pigmented lesions in Asians. Laser Surg Med. 2019;51:14-22.
- Ho DD, London R, Zimmerman GB, et al. Laser-tattoo removal—a study of the mechanism and the optimal treatment strategy via computer simulations. Lasers Surg Med. 2002;30(5):389-97.
- Neiva J, Delorenze LM, Alemida Issa MC. Q-switched laser for melasma, dark circles eyes and photorejuvenation. En: Almeida Issa MC, Tamura B. Clinical approaches and procedures in cosmetic dermatology. Laser, lights and other technologies. Editorial Springer International; 2018.
- Largeou A, Perrillat Y, Gral N, et al. Comparison of two picosecond lasers to a nanosecond laser for treating tattoos: A prospective randomized study on 49 patients. J Eur Acad Dermatol Venerol. 2017;32(2):265-70.
- Kim JH, Kim H, Park HC, et al. Subcellular selective photothermolysis of melanosomes in adult zebrafish skin following 1064 nm Q-switched Nd:YAG laser irradiation. J Invest Dermatol. 2010;130:2333-50.
- Kim IH. Effect of low fluence Q-switched 1064 nm Nd:YAG laser therapy on melasma. Aesthetic Dermatology. 2010;20:342-7.
- Vachiramon V, Iamsung W, Triyankulri K. Q-switched double frequency Nd:YAG 532-nm nanosecond laser vs. double frequency Nd:YAG 532-nm picosecond laser for the treatment of solar lentigines in Asians. Lasers Med Sci. 2018;33(9):1941-7.
- Ross V, Naseef G, Lin G, et al. Comparison of responses of tattoos to picosecond and nanosecond Q switched neodymium: YAG lasers. Arch Dermatol. 1998;134:167-71.
- Kim MJ, Kim JS, Cho SB. Punctate leucoderma after melisma treatment using 1064 nm Q-switched Nd: YAG laser with low pulse energy. J Eur Acad Dermatol Venerol. 2009;23:960-2.
- Taylor CR, Anderson RR. Ineffective treatment of refractory melisma and postinflammatory hyperpigmentation by Q-switched ruby laser. J Dermatol Surg Oncol. 1994;20:592-7.
- Ross EV. The picosecond revolution and laser tattoo treatments: are shorter pulses really better? Br J Dermatol. 2017;176:299-300.
- Kim SY, Park J, Kim H, et al. Long-term follow-up of 1064 picosecond-domain neodymium:yttrium-aluminium-garnet laser treatment for acquired bilateral nevus of ota-like macules. Med Laser. 2017;6(2):93-8.
- Negishi K. Prospective study of removing solar lentigines in Asians using a novel dual-wavelength and dual-pulse width picosecond laser. Laser Surg Med. 2018;50:851-8.
- Vanaman Wilson MJ, et al. Prospective studies of the efficacy and safety of the picosecond 755, 1064, and 532 nm lasers for the treatment of infraorbital dark circles. Laser Surg Med. 2018;50:45-50.
- Chan JC, Shek SY, Kono T, et al. A retrospective analysis on the management of pigmented lesions using a picosecond 755-nm alexandrite laser in Asians. Lasers Surg Med. 2016;48:23-9.
- Yang Y, Peng L, Ge Y, et al. Comparison of the efficacy and safety of a picosecond alexandrite laser and a Q-switched alexandrite laser for the treatment of freckles in Chinese. J Am Acad Dermatol. 2018;79:1155-6.
- Lee MC, Lin YF, Hu S. A split face study: comparison of picosecond alexandrite laser and Q-switched Nd:YAG laser in the treatment of melasma in Asians. Laser Med Sci. 2018;33:1733-8.
- Sakio R, Ohshiro T, Sasaki K, et al. Usefulness of picosecond pulse alexandrite laser treatment for nevus of Ota. Laser Therapy. 2018;27(4):251-5.
- Chesnut C, Diehl J, Lask, G. Treatment of nevus of Ota with a picosecond 755-nm alexandrite laser. Dermatol Surg. 2015;41:508-10.
- Levin MK, Ng E, Bae YS, et al. Treatment of pigmentary disorders in patients with skin of color with a novel 755 nm picosecond, Q-switched ruby, and Q-switched Nd:YAG nanosecond lasers: a retrospective photographic review. Lasers Surg Med. 2016;48:181-7.
- <https://tattooingdl.wordpress.com>
- Choudhary S, Elsaie ML, Leiva A, et al. Lasers for tattoo removal: a review. Laser Med. 2010;25:619-27.
- Langdon MD. A Brief History of Lasers Used to Treat Skin. En: Langdon MD. Understanding cosmetic laser surgery. University Press of Mississippi; 2004. Disponible en: [www.upress.state.ms.us](http://www.upress.state.ms.us)
- Ho DD, London R, Zimmerman GB, et al. Laser-tattoo removal—a study of the mechanism and the optimal treatment strategy via computer simulations. Laser Surg Med. 2002;30:389-97.
- Torbeck RL, et al. Evolution of the Picosecond Laser: A Review of Literature. Dermatol Surg. 2019;45(2):183-94.
- Weiss ET, Geronemus RG. Combining fractional resurfacing and Q-switched ruby laser for tattoo removal. Dermatologic Surgery. 2011;37(1):97-9.
- Huerta Rivera G, López Zaldo JB, Arreola Jauregui IE, et al. Clearance of facial tattoo with triple-wavelength picosecond laser and fractionated carbon dioxide laser. Dermatologic Therapy. 2019;32:1-2.
- [www.surgery.com](http://www.surgery.com)
- Hsu VM, Aldahan AS, Mlacker S, et al. The picosecond laser for tattoo removal. Lasers Med Sci. 2016;31:1733-7.
- [www.daliaresearch.com](http://www.daliaresearch.com)
- Kirby W, Desai A, Kartono F, et al. The Kirby-Desai Scale: A Proposed Scale to Assess Tattoo-removal Treatments. J Clin Aesthet Dermatol. 2009;2(3):32-7.
- <https://www.aao.org/clinical-video/scleral-tattoo-gone-wrong>
- Cruz NF, Santos KS, Farah ML, et al. Conjunctival tattoo with inadvertent globe penetration and associated complications. Cornea. 2017;36(5):625-7.