



**The
American Board
of Laser Surgery**

Incorporated 1984

CAPÍTULO SEIS

John C. Fisher, Sc.D.

Edward M. Zimmerman, M.D.

*(traducido y adaptado por Hilario Robledo MD, PhD, ScD
para la ABLs)*

Consideraciones en la Selección del Equipo

Edición 2016 para los profesionales médicos

Consideraciones en la Selección de un Equipo Láser

La plétora de los láseres médicos/quirúrgicos

En los albores de la cirugía láser, en 1.965, sólo había una empresa que ofrecía láseres diseñados específicamente para uso quirúrgico, *American Optical Corporation (A.O.)*. Fueron los *láseres de CO₂* diseñados para ser utilizados mediante una pieza de mano o un micromanipulador. En 1.973, la compañía Laser Industries, en Israel, fabricó un láser de CO₂ más pequeño y más moderno para uso quirúrgico de 50 vatios (W), que era una extensión del diseño enorme del modelo 100, de 50 vatios introducido originalmente por AO en 1.966, conocido por sus primeros usuarios como la “cabina telefónica” debido a su tamaño. En 1.968, A.O. fabricó el modelo láser de CO₂ 200 con una potencia de 100 vatios en la misma carcasa de la cabina telefónica. En 1.974, A.O. construyó el primero prototipo de su modelo más pequeño de CO₂ 300, con una potencia de salida de 25 vatios y diseñado para tener la cabeza del láser montada directamente sobre un microscopio quirúrgico binocular Zeiss. Este diseño carecía de brazo articulado y sus aplicaciones fueron diseñadas solo para la cirugía microscópica.

En 1.975, Coherent Radiation, que se convirtió más tarde en Coherent, Inc., ofrecía prácticamente una copia del láser de A.O., con una potencia de 25 vatios y diseñado también para montar la cabeza del láser sobre un microscopio quirúrgico, se llamó el modelo 400. En ese mismo año, A.O., fue comprada por Warner-Lambert, cuya dirección decidió vender las operaciones quirúrgicas láser a Cavitron Corporation. Cavitron estableció su grupo quirúrgico láser de CO₂ en Sudbury, Massachusetts en 1.976 y en 1.979 dominó el mercado del láser quirúrgico de CO₂ con su Modelo de A0-300. Si embargo, el dominio de Cavitron fue breve. En 1.980, fue adquirida por los labororios Cooper, para comprar posteriormente otros fabricantes de láser.

Durante ese año, varios competidores habían invadido el mercado estadounidense que hasta entonces estaba en vigor, el láser de iones de argón se había convertido en el líder en el campo de la oftalmología y de la dermatología, los láseres de neodimio:YAG de Moletron y Messerschmitt-Bolkow-Blohm se habían convertido en los preferidos para el control del sangrado gastrointestinal y el láser de potasio-titanil-fosfato (KTP) de Laserscope, Inc. fue todo un reto para los instrumentos mecánicos utilizados para la fenestración del crecimiento óseo anormal en el oído medio para el tratamiento de la otosclerosis. En la década de los ochenta hubo una proliferación explosiva de tipos de láseres y de fabricantes tratando de explotar el nicho de la cirugía con láser. En 1.989, el mercado de la cirugía láser había crecido alrededor de los 120 millones de dólares. A finales de 1.991, había al menos más de 30 compañías que ofrecían láseres para la cirugía o la terapia y más de 15 tipos de láseres que estaban siendo utilizados clínicamente.

Hoy día, el mercado mundial de las aplicaciones terapéuticas del láser ha crecido a cerca de los dos mil millones de dólares y se espera que alcance los 3.7 mil millones de dólares para el año 2.014. Más de tres docenas de fabricantes dominan el mercado, ofreciendo un número creciente de láseres médico-quirúrgicos, por no hablar de los numerosos nuevos dispositivos basados en la luz, la radiofrecuencia, IPL, rejuvenecimiento sin láser, especialmente en el campo de la estética.

Esta desconcertante variedad de compañías y de productos es una fuente de confusión

para los médicos y cirujanos que deseen comprar láseres. Incluso los comerciales más preparados de las compañías láser más honestas, no siempre son conscientes de las aplicaciones de sus propios productos y de los méritos de los dispositivos de la competencia, por no hablar del constante cambio incluso de los directivos y vendedores de estas empresas a las de la competencia más directa. Para agravar el problema, algunos comerciales son los que tergiversan deliberadamente la información de los productos de su compañía, al mismo tiempo que estamos viviendo una creciente invasión de dispositivos de dudosa o nula eficacia en cuanto a sus resultados clínicos y de aparatos no aprobados de bajo coste que también tratan de invadir el mercado fundamentalmente en las aplicaciones médico-estéticas.

Determinación del tipo de láser apropiado para la utilización prevista

A menos que el médico tenga experiencia previa con láseres quirúrgicos, puede resultar difícil el poder tomar una decisión racional sobre qué láser es el más adecuado para una determinada aplicación o aplicaciones. Sin embargo, si el médico simplemente trata de elegir entre varios tipos de láser que ya posee el hospital o la clínica en la que trabaja o tomar la decisión más difícil de qué láser es el que debe comprar, se deben tener en cuenta los siguientes pasos en el orden que se indican:

1. Seleccionar el tipo de láser, longitud de onda, que mejor se adapte a las aplicaciones propuestas.

2. Elegir el láser que tenga la densidad de energía suficiente o apropiada, ya que algunos fabricantes ofrecen láseres de un tipo determinado con más de un nivel de potencia disponible.

En las siguientes secciones se discutirán estos apartados de los pasos 1 y 2.

Seleccionando la longitud de onda apropiada

Esta *es la decisión más importante* en el proceso de elección de un láser quirúrgico. Por desgracia, a veces relegado al último lugar en el proceso. Con el fin de hacer una elección inteligente, el usuario potencial del láser debe conocer y comprender la información que se presenta en el capítulo 4 del libro láser I - Guía Médica Básica de la Ciencia del Láser, en particular de los tres tipos de láseres clasificados como:

1. Láseres **WYSIWYG**: “*What You See Is What You Get*” (lo que se ve es lo que consigue).
2. Láseres **WYDSCHY**: “*What You Don't See Can Hurt You*” (lo que no ve puede lesionar).
3. Láseres **SYCUTE**: “*Sometimes You Can Use Them Effectively*” (en algunas ocasiones se pueden utilizar con eficacia).

Desafortunadamente, se elige primariamente un láser en particular para un determinado procedimiento debido a su fibrotransmisividad. En los casos en que la cirugía láser puede realizarse a través de un artroscopio, endoscopio, histeroscopio o laparoscopio, esto podría ser un factor importante pero no debería pesar más que las consideraciones que se han señalado anteriormente.

La clasificación anterior se ha hecho sin tener en cuenta la conveniencia del sistema de entrega del láser al objetivo quirúrgico. *El dispositivo de entrega más conveniente de todos es*

una fibra óptica, pero las longitudes de onda los excímeros ArF, KrCl y KrF y de los Er:YAG y los láseres de CO₂ no pueden transmitirse eficazmente a través de las fibras ópticas que están disponibles comercialmente. En otras palabras, *el rango del espectro entre los 308 a los 2.200 nm son fibro-transmisibles*, pero las longitudes de onda más cortas o largas requieren todavía *brazos articulados* o *transmisión directa* desde el láser al objetivo.

A continuación se resumen las características más importantes de estos tres grupos de láseres en relación a la selección de las aplicaciones médicas.

Láseres WYSIWYG “What You See Is What You Get” (lo que ve es lo que consigue)

Los rayos de estos láseres son absorbidos mucho más fuertemente que dispersados por los tejidos vivos. También tienen altos coeficientes de absorción en un sentido absoluto: 100/centímetro (cm) o más. Se debe tener en cuenta que la absorción de la luz láser emitida por este tipo de láseres puede tener lugar en el **agua** (constituyente principal de los tejidos blandos), en compuestos orgánicos complejos o en **el carbono libre (el absorbente universal)** en el tejido biológico que ha sido desnaturalizado por el calor.

Los láseres que están dentro de esta categoría, son aquellos cuya longitud de onda es tal que **la absorción predomina sobre la dispersión de sus rayos en los tejidos vivos**. El haz de los láseres WYSIWYG permanece colimado dentro del tejido diana y simplemente tienen una disminución de su absorción en profundidad desde la primera superficie. Su extinción en profundidad es corta, típicamente por encima de un milímetro. Como se puede deducir, **estos láseres son los adecuados para la realización de una cirugía precisa, atraumática y con un daño térmico residual mínimo**. Los láseres WYSIWYG más notables son los **excímeros, erbio:YAG, dióxido de carbono** y **todos los láseres cuyas longitudes de onda sean más largas de 2.500 nm**.

Sin embargo, estos láseres son **malos coaguladores, debido a que sus rayos no se dispersan en el tejido diana, sino que se absorben a una distancia corta de la primera superficie**. Dentro del pequeño volumen de absorción, el calor generado, si alguno (recuerde que los excímeros en su acción son en su mayor parte no térmicos), se transmite al tejido adyacente **solo por conductividad térmica, una forma relativamente ineficaz de calentamiento de los tejidos vivos**, que puede transmitir solamente alrededor de 10 W/cm² de la pared del cráter en ebullición hecha por un láser de CO₂.

A principios de 1.990, solamente el láser de CO₂ estaba aprobado por la FDA para virtualmente todas las aplicaciones quirúrgicas, desde ese momento la FDA, por supuesto, aprobó el láser de erbio:YAG para las aplicaciones dentales y de restauración cutánea ablativa, al igual que el láser de excímeros para procedimientos de correcciones oculares incluyendo el LASIK (es el acrónimo de “laser assisted in situ keratomileusis”) y PRK (queratectomía fotorrefractiva).

Los láseres WYSIWYG son la elección correcta para las aplicaciones quirúrgicas en el que el objetivo principal es la eliminación precisa y atraumática del tejido en situaciones en las que el sangrado de los vasos grandes no es un problema. Estos láseres no son los adecuados para las aplicaciones de coagulación o para conseguir hemostasia, ni para la destrucción selectiva dependiendo del color del tejido.

Láseres WYDSCHY “What You Don’t See Can Hurt You” (*lo que no ve puede lesionar*)

Los láseres de esta clase producen longitudes de onda de tal manera que *sus rayos son dispersados con más fuerza que su absorción, y sus coeficientes de absorción son bajos en un sentido absoluto*: 10/cm o menos. La dispersión de su luz está comprendida en el intervalo entre los 10/cm y los 30/cm. Estos láseres producen un flujo radiante al azar difuso y su energía se convierte en calor en las sustancias biológicas, por lo que son unos excelentes coaguladores de volúmenes de tejido (ej.: terapia intersticial). Sin embargo, por la misma razón, son inherentemente ineficaces para el corte preciso o para la vaporización tisular.

Los láseres de este grupo son los de *vapor de oro (628 nm), de helio-neón (633 nm), criptón-iónico (647 nm), Nd : YAG (1.064 nm), y láseres de diodo*. En general, *cualquier láser cuya longitud de onda esté entre los 625 y 1.400 nm caen en esta categoría*. De este grupo, y como un ejemplo, el más útil para aplicaciones ginecológicas es el láser de Nd:YAG. Cuando el haz se entrega a través de una fibra óptica esculpida o con una terminación de zafiro en contacto con el tejido, *el láser de Nd: YAG se puede utilizar para la incisión de los tejidos blandos*, con una buena hemostasia de primer pase en vasos de hasta 1 milímetro (mm) de diámetro, convirtiéndose prácticamente un láser WYSIWYG, es decir, puramente ablativo. Ningún láser de este grupo es apto para cortar hueso, aunque los láseres de neodimio:YAG pulsados (trenes de pulsos en microsegundos) con puntas de alambres de tungsteno sumergidas en una solución salina han sido capaces de fragmentar urolitos.

Los láseres que pertenecen a esta categoría son aquellos cuyas longitudes de onda son tales que *la dispersión domina sobre la absorción en la mayor parte de los tejidos*. Cuando predomina la dispersión, la luz dentro del tejido diana se hace un *flujo radiante difundido al azar (randomly diffused radiant flux, r.d.r.f.)*, con ondículas (fotones) que viajan con una probabilidad igual en todas las direcciones en cualquier punto. El flujo radiante difundido al azar (r.d.r.f.) es lo que un conductor de un vehículo ve durante un día soleado con una niebla densa. La luz parece ser igual de brillante en todas las direcciones. *Este tipo de luz es la antítesis de la luz láser y tiene poca utilización o ninguna en el corte o en la vaporización de los tejidos, excepto a densidades de energía muy altas*.

El concepto de densidad de energía, que está bien definido en la luz láser, no es tan claro en el flujo radiante difundido al azar. En ese último caso, deberemos redefinir la densidad de energía como el número total de fotones (u ondículas) que pasan en una unidad de tiempo a través de una esfera elemental o volumen centrado en algún punto en el interior del tejido, dividido por el corte transversal ecuatorial de la esfera y multiplicado por la energía por fotón. La densidad de energía del r.d.r.f. en un punto es matemáticamente el límite de este factor cuando la esfera se encoge a su punto central.

Por lo tanto, *el r.d.r.f. es lo ideal para calentar grandes masas de tejido*, debido a que ilumina un volumen de tejido que tiene una forma aproximada como un medio melón con su ecuador más pequeño en la primera superficie del tejido.

Todos los láseres en la categoría WYDSCHY son térmicos en su acción a densidades de energía hasta aproximadamente 1.000.000 W/cm². El r.d.r.f. dispersado en todas las partes del volumen iluminado se convierte en calor (excepto alguna parte insignificante en alguna pequeña fracción del tejido que se dispersa fuera), de modo que cada punto dentro del volumen iluminado actúa como una fuente de calor.

Para controlar la extensión geométrica del tejido calentado y la elevación final de la temperatura, es necesario fijar la energía total apropiada y el diámetro del rayo de luz láser incidente y exponer al tejido el tiempo suficiente. En la longitud de onda de 1.064 nm el volumen calentado de tejido pueden ser muchos centímetros cúbicos, a condición de que se eviten las explosiones (como las palomitas de maíz).

Como ya se ha comentado, **el láser más representativo de los láseres WYDSCHY es el Nd:YAG a la longitud de onda de 1.064 nm.** Otros láseres que están dentro de esta categoría son: el helio neón, los diodos y **todos los láseres cuya longitud de onda está comprendida entre los 625 y los 1.400 nm.** Sin embargo cuando existe una concentración alta de melanina o de carbono libre como resultado de la necrosis térmica los láseres WYDSCHY pueden comportarse como los láseres WYSIWYG, o como se ha comentado anteriormente a través de fibras ópticas en contacto o no con el tejido.

Un caso especial es el **láser de rubí**, longitud de onda de **694 nm**, que está intrínsecamente **restringido a pulsos cortos.** A energías de 0.1 julio o mayores, el pico de energía por pulso de un láser de rubí puede estar en el rango de kilovatios, con sus correspondientes densidades de energía altas del haz de luz incidente. *De esta forma puede producir vaporización instantánea de los tejidos ligeramente pigmentados, mientras que la duración corta de los pulsos (50 nanosegundos) evitan una necrosis térmica significativa mas allá del eje del haz o en la profundidad de los tejidos.*

Láseres SYCUTE “Sometimes You Can Use Them Effectively” (en algunas ocasiones se pueden utilizar con eficacia)

Los láseres dentro de esta categoría **son aquellos cuya longitud de onda se encuentra entre los 400 y los 625 nm (luz visible) y entre los 1.400 y 2.500 nm (espectro del infrarrojo medio).** Todos ellos actúan de forma **térmica** sobre el tejido y muy dependientes de la pigmentación como el mayor absorbente en el espectro visible. En el espectro infrarrojo medio (láseres cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 1.400 - 2.500 nm) tienen una absorción moderada por el agua inespecífica (intra y extracelular): de 10/cm a 100/cm. En ambos rangos la dispersión es significativa: de 10/cm a 30/cm, dependiendo del tipo de tejido y su estado de daño térmico.

La mayoría de los láseres visibles están dentro de esta categoría, excepto los láseres cuya longitud de onda es superior a los 625 nm. También incluye a los láseres cuyas longitudes de onda se encuentran entre los 1.400 y 2.200 nm, notablemente son el holmio:YAG (a 2.100 nm) y el tulio:YAG (a 2.010 nm).

Los láseres que están en este grupo, en el *infrarrojo medio* (1.400 - 2.500 nm), tienen una **absorción moderada del agua y también una dispersión significativa en los tejidos blandos.** A la longitud de onda del Ho:YAG (2.100 nm), la absorción del agua está en torno a los 35/cm. En la del láser Tm:YAG (2.010 nm) la absorción agua está en torno a los 65/cm. La dispersión a estas longitudes de onda está en el orden de los 5/cm a los 8/cm. Por lo tanto **estos láseres no son unos excelentes cortadores ni coaguladores, pero combinan una ablación moderada con una hemostasia modesta.** Son estrictamente **pulsados** (300-400 microsegundos) y *de esta forma no pueden causar una necrosis térmica extensa en el área adyacente de la zona de impacto.*

Los láseres visibles en el grupo de los SYCUTE **pueden ser producir un corte y una abrasión muy eficaz si existe el pigmento adecuado que cause una fuerte absorción (>100 cm),**

sin embargo tienen una **absorción débil por el agua** (0.006/cm a 0.02/cm). **El mecanismo primario de la ablación tisular para los láseres visibles (400 - 625 nm) es la absorción de los rayos láser por el pigmento orgánico, conversión de la luz absorbida en calor y transferencia del calor por conductividad térmica desde los cromóforos (partículas de pigmentos) al agua histológica y vaporización de la misma formando vapor que se expande rápidamente.**

Los láseres SYCUTE incluyen a los láseres de **iones de argón**, de **colorante líquido**, los de **iones de criptón** (476, 521, 568 nm respectivamente), **KTP** (532 nm), **holmio:YAG** (Ho:YAG, 2.010 nm) y de **tulio:YAG** (Tm:YAG, 2.100 nm). Estos láseres son muy específicos para la aplicación y no son instrumentos quirúrgicos de propósito general. *Sus efectos en el tejido biológico varían de muy precisos (ej.: los de iones de argón o KTP de corte del tejido que contiene muchos vasos pequeños o melanina) a difusas (ej.: Ho:YAG para la reducción de los discos intervertebrales, disectomía percutánea con láser, tratamiento de la exóstosis en el foramen vertebral, también empleado en la hipertrofia prostática benigna con una potencia de hasta 200 vatios).*

Los láseres SYCUTE visibles (400-625 nm), operando en modo de onda continua, pueden proporcionar una incisión moderadamente precisa o vaporización de los tejidos ligeramente pigmentados, combinada con una hemostasia moderada, si su radiación se entrega mediante fibras esculpidas o sondas de zafiro en contacto con el tejido. Los láseres SYCUTE en el infrarrojo medio (1400-2500 nm), son inherentemente pulsados con una energía por pulso de 1-2 julios (J) que pueden cortar o vaporizar el tejido con una precisión moderada y conseguir una hemostasia igualmente moderada a energías más bajas, por debajo de 0.5 J/pulso, con una vaporización mínima. Ningún láser de este grupo es un dispositivo preciso ni atraumático para la incisión ósea, aunque algunos pueden fragmentar eficazmente urolitos y colelitos (ej.: láseres de colorante pulsado a las longitudes de onda correspondientes) y algunos pueden ablacionar la placa arterial calcificada (ej.: el Ho:YAG y el Tm:YAG).

Una característica importante en las aplicaciones de los láseres SYCUTE en la cirugía es el hecho de que **pueden ser transmitidos eficazmente mediante fibras ópticas de cuarzo**. Esta es una consideración importante, especialmente para la *cirugía endoscópica, pero no debería ser el único factor evaluado en la longitud de onda apropiada.*

La elección de la potencia nominal, accesorios y características especiales

Requerimientos de energía eléctrica

La mayoría de los láseres de CO₂ para un propósito general quirúrgico sólo requieren un estándar de 220 voltios (V), 60 hercios (Hz), una toma simple de fase de corriente alterna (CA) con una capacidad para 20 amperios. Todo esto está disponible en todas las salas quirúrgicas hoy en día. Sin embargo, los láseres quirúrgicos de otros tipos generalmente requieren una mayor tensión de entrada y de corriente, debido a la baja eficiencia global inherente a la mayoría de los láseres. Es importante para el comprador potencial que se asegure de que en la sala de operaciones, clínica o consultorio donde se va a utilizar el láser tiene disponible la energía eléctrica adecuada. Un *sistema trifásico* que se necesita con frecuencia para otros láseres que no son el CO₂ y que además empiezan a exigirlo en las inspecciones sanitarias para la concesión de la correspondiente autorización de las unidades asistenciales quirúrgicas.

Requerimientos de refrigeración

Algunos láseres necesitan un sistema de refrigeración por agua externo (ej.: iones de argón, colorante, rubí, neodimio:YAG de frecuencia doblada, algunos de Nd:YAG (aunque incluso hoy día los más potentes fabricados, de hasta 130 vatios, el sistema de refrigeración lo llevan incorporado en el interior del láser). Esto hace que la instalación sea engorrosa y cara, también limita la utilización del láser en una o dos localizaciones. Cada vez más, los fabricantes diseñan sus láseres con sistemas de refrigeración interna mediante circuitos de agua cerrada y/o con sistemas de refrigeración aire (turboventiladores). En todos los láseres de CO₂, que por lo general significa la adición de volumen extra en la carcasa del láser, merece la pena el tamaño agregado para poder tener una movilidad completa. Un láser que no requiere refrigeración externa de agua es siempre preferible si los otros factores son iguales o comparables.

Potencia de salida, valoración y accesorios

Para realizar corte y vaporización de los tejidos blandos, una *potencia media de 50 vatios* (W) es muy adecuada y permite una cierta disminución de la energía radiante con el tiempo (recuerde que prácticamente *todos los láseres de CO₂ que se venden para cirugía hoy día tienen tubos sellados, cuya salida disminuye con el uso*). Para la realización de incisiones, se requiere una densidad de potencia de 10.000 W/cm². Con un tamaño focal 1/0.2, 0.5 mm de diámetro, la media de potencia en el haz debe ser de 23 vatios. Sin embargo, para vaporizar áreas o volúmenes tisulares, se debe utilizar una densidad de potencia no menor de los 600 W/cm² con un tamaño focal de al menos 2 mm y *preferiblemente de 3 mm de diámetro (láseres CO₂ UP - UltraPulsados)*. **Con un diámetro focal de 2 mm, 600 W/cm² se necesita una potencia media de 22 vatios y con un spot de 3 mm, 49 W.**

A pesar de que 25 vatios serán suficientes para la mayoría de los procedimientos que se realizan en los tejidos blandos, si el tamaño del punto de incisión es de 0.5 mm de diámetro y el punto de vaporización es de 2 mm de diámetro, es preferible una densidad de potencia de 50 W para la variedad general de procedimientos quirúrgicos que se realizan en un quirófano ya que permite un margen de seguridad en la disminución de potencia con el tiempo y ofrece la capacidad de realizar ablación de tejidos blandos más expedita. La vaporización de un centímetro cúbico de tejido requiere al menos 2.522 J, con un láser de 25 vatios se necesita un tiempo de 101 segundos o 1.68 minutos, con un láser de CO₂ que tenga una potencia de 50 vatios, el tiempo se reduce a 0.84 minutos, o 50.4 segundos.

Aunque ya se ha expuesto en la biofísica de la restauración cutánea láser, debemos hacer una consideración entre las diferencias existentes, a la hora de la elección del láser que se vaya a adquirir, entre los láseres de CO₂ superpulsados y ultrapulsados, teniendo en cuenta que *los láseres de emisión continua ya no se utilizan en esta aplicación por el daño térmico residual considerable que dejan en las capas inferiores del tejido ablacionado*, haciendo que el tiempo de recuperación sea considerablemente mayor así como la tasa de efectos secundarios y complicaciones.

Láseres de neodimio:YAG (Nd:YAG)

Este tipo de láser se ofrece típicamente en potencias de salida de 25 a 130 W. Para el

uso de aplicaciones generales, que son las más habituales en una consulta o clínica que realice procedimientos estéticos, con la entrega sin contacto del haz, una salida de 50 o 60 W suele ser suficiente. Sólo en la ablación endometrial en modo de no contacto el disponer de una potencia mayor es una ventaja. En las situaciones en las que se requiera coagulación de una hemorragia gastrointestinal, pueden ser necesarios 100 W. Sin embargo, con la entrega de contacto de la haz láser, un máximo de 25 W será suficiente, para todas las aplicaciones; con sondas en forma de aguja, 15 W es suficiente para la realización de incisiones.

Es muy importante que el fabricante ofrezca una amplia variedad en las anchuras de pulso para poder realizar el mayor número de aplicaciones en los procedimientos que ofrezca. Hay marcas comerciales que disponen de una anchura de pulso que van desde los 0.1 ms al segundo de exposición, con tamaños de spot que pueden variar de 2 mm a 20 mm de diámetro y disponen de accesorios para incorporar piezas de mano de entrega a fibras ópticas de diferentes diámetros. Es decir, **el láser de neodimio:YAG con una longitud de onda de 1.064 nm** y que **se absorbe por diferentes cromóforos: agua, oxihemoglobina y melanina;** dependiendo de la anchura de pulso y densidad de energía junto a los sistemas de entrega disponibles: piezas de mano sin contacto, de diferentes diámetros focales, piezas de mano endocavitarias, como fibras ópticas igualmente de diferente tamaño, puede tener una gran variedad de aplicaciones médicas que pueden variar desde **procedimientos médico-estéticos** a puramente médicos: eliminación del vello, eliminación de malformaciones vasculares (faciales, angiomas, venulectasias, telangiectasias de los miembros inferiores, restauración cutánea no ablativa tanto en pulsos largos como en microsegundos, como acné inflamatorio leve-moderado, tratamiento de verrugas (VPH), condilomas, onicomycosis, pulsos ultracortos (ns) como alteraciones de la pigmentación, eliminación de tatuajes; a **procedimientos quirúrgicos mediante fibras ópticas** como la realización de corte, vaporización, láser endovenoso para las insuficiencias valvulares del sistema venoso superficial de los miembros inferiores, laserlipólisis y mediante la utilización de las piezas de mano endocavitarias a través de histeroscopios, laparoscopios y endoscopios. Con anchuras de pulso superlargas (>100 ms) y emisiones con una anchura de pulso de un segundo, se está trabajando en algias musculares, epicondilitis, hidradenitis, restauración cutánea no ablativa.

El láser de neodimio:YAG, es uno de los pilares básicos que deben formar parte de una consulta clínica que realice procedimientos médicos o quirúrgicos láser, junto a uno o de ambos de los láseres ablativos e incisionales por excelencia: CO₂ o erbio:YAG.

Comparados con los láseres de tubo sellados de CO₂, los láseres de neodimio:YAG no declinan tanto en la potencia de salida en un periodo de 2-3 años, así que el exceso de potencia no es tan importante como en el láser de CO₂. La causa principal de la disminución de potencia en un láser de Nd:YAG es la disminución de la luz emitida por las lámparas de xenon de alta intensidad o de las lámparas de bombeo de criptón.

Otro avance importante en los láseres de neodimio:YAG de pulso largo es la posibilidad de adquirirlos con **frecuencia doblada** (incorporan un **crystal de KTP** y pueden emitir a una longitud de onda de **532 nm**), tanto en la emisión Q-switched, como en milisegundos, haciéndolos una buena opción en cuanto al tratamiento de las lesiones vasculares percutáneas y prácticamente todas las aplicaciones e incluso las vasculares menos profundas que los láseres de colorante pulsado y de mayor durabilidad en cuanto al cambio del cartucho de rodamina que es perecedero en el tiempo y con un tiempo de vida o de pulsos limitada, sin ningún menoscabo hacia los mismos ya que nosotros los utilizamos con mucha frecuencia en la práctica diaria.

Con respecto al tratamiento de la eliminación de tatuajes y lesiones pigmentadas benignas y si tuviera que decantarme por un determinado sistema, hoy día, elegiría igualmente un láser Q switched de neodimio:YAG con frecuencia doblada (1064/532 nm) y una anchura de pulso de 5 nanosegundos, por su mayor estabilidad, durabilidad de las lámparas y de la cabeza del láser, la posibilidad de eliminar pigmentos de más colores, además de los polímeros con longitudes de onda de 650 (rubí) y 585 (colorante) para la eliminación de tintas de color verde y azules, que pueden añadirse para el tratamiento de tatuajes/lesiones pigmentadas y la posibilidad de tratar fototipos de piel más oscuros y con los desarrollos tecnológicos de ingeniería a la hora de poder entregar pulsos más largos del orden de los 150 - 250 microsegundos (μ s), la posibilidad de abordar otros tratamientos diferentes a la eliminación de tatuajes y lesiones pigmentadas para poder hacer de estos sistemas más rentables. El láser de alejandrita en picosegundos (10^{-12} seg), su coste, hoy día, es muy elevado y no mejora notablemente la eficacia de los láseres Qs.

Accesorios y Características Especiales

Láseres de CO₂

La mayoría de los láseres quirúrgicos de CO₂ ofrecen parámetros comparables, al igual que los láseres de neodimio:YAG y que se han expuesto en secciones previas, tales como:

1. Pantallas digitales para la energía, los parámetros de modo temporal, manual de instrucciones e información adicional. En muchas ocasiones la energía de unos sistemas viene expresada en vatios, milijulios, J/cm², en todos los sistemas no se expresan todos los parámetros indicados anteriormente con lo cual en ocasiones se hace realmente difícil el poder comparar resultados y/o reproducirlos, *la mala utilización de la terminología ha dado lugar entre los mismos profesionales a confusiones e incluso a situaciones desconcertantes donde la comunicación es difícil o imposible*. Otros sistemas, lo que hemos denominado “software lógico”, expresan todos estos valores que se han mencionado junto a la cantidad de micras ablacionadas de tejido y el daño térmico residual, lo que hace un entendimiento más comprensible para el médico que está realizando el procedimiento, en vez de tener que hallarlos o mirarlos en las tablas que acompañan al manual clínico del operador.

2. Pantallas táctiles o botones de ajuste de potencia, anchura de pulso, tamaño focal, botones de reposo o en actividad del láser, etc.

3. Los valores de la potencia de salida que van linealmente de cero al máximo en incrementos de 1 W.

4. Modo de onda continua o pulsado desde 1 hercio (8 en los CO₂ UP) o pulsos repetitivos cuya duración se puede ajustar linealmente de 0.05 a 1 segundo en pasos separados a intervalos iguales (estos pulsos son esencialmente cw con una potencia pico igual a la seleccionada para la verdadera operación en modo continuo (cw)), la tasa de repetición varía en cada modelo de láser.

5. Superpulsado con una variedad de valores para la anchura de pulso, tasa de repetición y ciclo de trabajo que con frecuencia son ajustables de forma independiente y habitualmente varían la potencia media de salida. En los CO₂ UP, la anchura de pulso es fija a 0.8 ms y en modo

pulsado, la tasa de repetición comienza a partir de 8 Hz.

6. Micromanipuladores que ofrecen una selección de longitud focal de 250 a 400 mm y piezas de mano con tamaño focal de 0.2, 1, 2 y 3 mm (esta última en el láser de CO₂ Encore, UltraScan de Lumenis). Tanto en los láseres de CO₂ como en los de erbio:YAG, existen piezas de mano y micromanipuladores **colimados**, es decir, que dentro de una distancia de separación con el objeto diana o superficie de la piel, mantienen la misma densidad de energía, que en mi opinión es una gran ventaja para muchas aplicaciones, en algunas otras también es interesante el poder desfocalizar con lo que se entrega una densidad de energía menor que es directamente exponencial a la distancia de separación si se busca un efecto más térmico, subablativo para conseguir hemostasia.

7. Piezas de mano de longitud focal de 75, 125 y/o 150 mm, pero toda esta variedad de piezas de mano varía con cada una de las casas fabricantes de láseres ablativos.

Como ya se ha comentado, la diferencia más significativa entre los diferentes láseres para cirugía de CO₂ es la excitación mediante corriente eléctrica directa frente a la radiofrecuencia. La estimulación mediante radiofrecuencia permite un pulso corto rectangular con un ciclo de trabajo bajo y de alta potencia. Los hechos importantes que se deben recordar son: **la duración del pulso no debe exceder 1 ms y el ciclo de trabajo (duty-factor/duty cycle) no debe exceder del 10% para la reducción óptima del daño térmico al tejido adyacente**. Idealmente, la energía por pulso y la tasa de repetición deben ser ajustables de forma independiente, y la anchura de pulso está en un valor comprendido entre los 300 ms y 1 ms.

Láseres visibles (400-700 nm) y en el infrarrojo cercano (700-1.400nm)

Estos láseres ofrecen pantallas digitales de la densidad de energía, parámetros temporales, modo de funcionamiento y otros de pertinente información. No ofrecen la superpulsación pero si la elección de pulsos de onda continua o de disparo único o repetitivo con duraciones a intervalos de 0-0.5, 1 o 2 segundos y tasas de repetición de uno a tres pps. **Todos estos láseres están en la categoría de los láseres WYDSCHY** (cualquier láser cuya longitud de onda esté entre los 625 y 1400 nm caen en esta categoría) **y de los láseres SYCUTE** (aquellos láseres cuya longitud de onda se encuentra entre los 400 y los 625 nm (luz visible) y entre los 1.400 y 2.500 nm) y su radiación puede ser entregada mediante fibras ópticas, excepto para los láseres Q-switched de rubí (694 nm), láseres Qs de Nd:YAG) que se utilizan para el tratamiento de lesiones pigmentadas y eliminación de tatuajes y los láseres de Nd:YAG de pulsos cortos utilizados para cirugía oftálmica. Estos láseres se diferencian en si ofrecen fibras esculpidas o sondas de zafiro de contacto con el tejido y en el extremo proximal de la fibra. El **conector SMA**, se utiliza en la actualidad en varios tipos y marcas de diferentes láseres, este tipo de conector es preferible a los conectores especiales que utilizan algunas empresas para obligar a sus clientes a tener que adquirir sus fibras patentadas. Las fibras con conectores SMA están disponibles por varias empresas que ofrecen a su vez otros accesorios láser en el mercado de accesorios, por lo general a precios inferiores manteniendo la misma calidad que el fabricante original del láser.

Eligiendo fabricante

Si solamente una empresa ofrece el láser que está bajo nuestra consideración, la elección

es obvia. Sin embargo, normalmente esto puede ser un proceso difícil cuando más de una compañía ofrecen el tipo de láser que ha sido seleccionado en el supuesto que el comprador potencial (hospital, clínica, médico individual) no tenga una especial en la elección de los fabricantes, los factores que deben evaluarse en orden de importancia son los siguientes:

Reputación y Longevidad

La industria del láser quirúrgico en los últimos años se ha caracterizado por una rápida proliferación de fabricantes, una ***competencia feroz y sin prejuicios*** por hacerse con el mercado, un alto índice de fracasos entre los fabricantes de láseres y la rentabilidad marginal que en algunos casos proporciona una capacidad limitada de empresas supervivientes para participar en el desarrollo técnico. Algunas empresas han sobrevivido desde su inicio en la industria del láser, mientras que otras, como Laser Co. (láseres de CO₂) y Vaser (excímeros para angioplastia) tenían una visa media muy corta. Otras compañías que han sobrevivido como entidades corporativas han reducido o alterado drásticamente sus líneas de productos láser, igualmente ***otras compañías han sido absorbidas por otras que cotizaban más en bolsa que en muchos casos tenían productos muy similares o para idénticas aplicaciones y que anteriormente criticaban con cierta agresividad, y que hoy tratan de vender cualquiera de sus productos de similares características que hasta entonces solo destacaban los productos que ellos representaban.***

Existe un riesgo elevado al comprar un láser médico o quirúrgico hoy para descubrir que en tan solo uno o dos años sus fabricantes ya no están en el negocio. Las instituciones de salud en los Estados Unidos, Europa y otros países tienen muchos láseres quirúrgicos que quedan huérfanos, ***sin servicio, sin asistencia técnica o sin repuestos***, por lo que es necesario que el posible comprador deba tratar con una empresa que lleve varios años en el mercado y tenga los recursos necesarios para sobrevivir a periodos de baja rentabilidad sin quiebra. Igualmente, personalmente aconsejo que no se compre un láser sin que se haya podido probar en su clínica junto al representante del departamento técnico correspondiente, las casas troncales o las filiales deberían tener equipos demo para poder realizar demostraciones, sobretodo cuando existen varios equipos de características similares o para idénticas aplicaciones, garantía de la máquina, ***asistencia técnica*** en un periodo inferior a las 48-72 horas de haber emitido un parte de avería, ***departamento clínico de apoyo con personal médico al frente y posibilidad de contratos de mantenimiento una vez finalizado el periodo de garantía.***

La reputación de los fabricantes entre sus clientes debe ser evaluada cuidadosamente en cuanto a la fiabilidad de su línea de productos en curso, la evolución de esta línea de productos, la disponibilidad de los dispositivos como las piezas de mano más antiguas para los más modestos u otros componentes como las actualizaciones de software de las máquinas y la empresa que ha aparecido recientemente en el mercado debería ser analizada críticamente en cuanto a sus fundadores, sus experiencias pasadas y sus fuentes de financiación. Es relativamente fácil para una firma nueva y pequeña que opera a bajos precios y alquilando equipos en vez de desarrollar un láser quirúrgico técnicamente avanzado a un precio menor que el de sus competidores con una tecnología más sofisticada y avanzada puedan igualar, además estas empresas es difícil que puedan sobrevivir a los costes y a los problemas de crecimiento o desarrollo tecnológico, la asistencia técnica y la investigación en la ciencia del láser.

Si una empresa es de propiedad y del comercio, hará bien en consultar los informes disponibles de la empresa y/o el rendimiento de sus acciones sobre la historia de su cotización

en bolsa. Mientras que hay una cierta cantidad de especulación involucrada en el precio de las acciones de una compañía láser, también hay un núcleo de bienes, valor de tasación en la tendencia del precio de una acción durante un periodo de un año o más. Una caída repentina en el precio de una acción puede reflejar pobres ganancias, la pérdida de cuota en el mercado o retrocesos reguladores.

Fuerza de la compañía en ventas: directa o representantes

Una compañía que cuenta con los recursos financieros adecuados y dedicación a largo plazo para el mercado, va a contratar, capacitar y recompensar a las mejores personas disponibles para ser representada ante la comunidad médica. Los agentes locales empleados por la empresa por lo general, tienen una mejor información y una mayor preocupación acerca de sus productos y por la satisfacción del cliente que los representantes de pequeñas empresas descapitalizadas que no pueden pagar a sus vendedores directos, en particular, a los *distribuidores que compran los láseres de los fabricantes y los revenden a los clientes, en muchas ocasiones a personal no médico*, siendo de esta forma una acción ilegal, *solo tienen un interés financiero* en el producto que con frecuencia se han establecido para ejercer una *competencia desleal* y sin dedicación a sus clientes o *una venta al mejor postor*.

Se debe preguntar al agente local qué hospitales en todo el país y a nivel local están utilizando el láser, que accesorios vende y que procedimientos específicos son los que realiza. Es importante el conocimiento personal del agente comercial y de las aplicaciones más frecuentes junto a la valiosa información acerca de las políticas y prácticas de la empresa. Un vendedor inteligente, bien preparado e informado sobre las aplicaciones médicas y quirúrgicas de las demostraciones de los productos de una empresa está interesado en los usuarios y en sus dispositivos. Un feriante locuaz, que habla rápido, que sabe poco del producto o de sus indicaciones importantes, por el contrario, es con frecuencia un signo de un fabricante demasiado pobre o con demasiado interés en las necesidades de un comprador para contratar y capacitar al personal competente que puedan servir a estas necesidades.

El posible comprador de un láser quirúrgico debe preguntar a su agente local la información de contacto y las referencias de los actuales usuarios del láser que está considerando. Los usuarios deberían estar en contacto para transmitir las evaluaciones sinceras del producto al fabricante y a los agentes locales. El posible comprador debe tener cuidado con cualquier empresa cuyo agente hace afirmaciones radicales del producto de esa empresa, en particular, si puede hacer todos los procedimientos quirúrgicos con eficacia. Algunos compradores del grupo de los láseres SYCUTE (Sometimes You Can Use Them Effectively, en algunas ocasiones se pueden utilizar con eficacia) *creen que tienen una longitud de onda de aplicación universal para descubrir después que no lo era*.

Garantía y servicio técnico después de la venta

La garantía y el servicio técnico postventa son uno de los factores más importantes a considerar en la elección de un fabricante. La mayoría de los fabricantes de láseres quirúrgicos dan solamente un año de garantía que cubre partes y mano de obra en caso de un mal funcionamiento o fallo del láser, personalmente en las facturas proforma de los equipos siempre pongo dos años de garantía. **Los fabricantes pequeños no son todos iguales en términos de su servicio**

de reparación, pueden contar con técnicos que operan solo en fábrica, lo que puede causar retrasos de hasta varios días en obtener el servicio técnico bajo garantía, al igual que se ha comentado anteriormente, en estas condiciones de venta, personalmente hago constar un servicio técnico de 48-72 horas en poner la máquina en funcionamiento y si no es posible el reemplazo de la misma. Las compañías más grandes y más establecidas pueden tener un servicio técnico que están estacionados permanentemente en diversos sectores del país con el fin de agilizar el servicio a las llamadas de los clientes en las diferentes ubicaciones del país, así como el envío por transporte urgente de las piezas necesarias que tienen en estocaje para su reparación. Esto es especialmente cierto en el caso de empresas que venden sus productos a través de distribuidores que tienen su propio personal, ingeniero y/o técnico para poder reparar el láser.

Al servicio técnico después de la venta sólo le supera el tipo de láser como factor más importante en la elección de que láser comprar. Incluso, independientemente del lugar donde se encuentre situado, es esencial la asistencia técnica a corto plazo, que sea competente y que asegure la satisfacción del comprador con su sistema láser. Ningún láser funcionará siempre sin reparaciones o ajustes cuando estos son necesarios. El láser mejor diseñado del mundo es inútil sin un servicio rápido y eficaz.

Después de que el periodo de garantía ha finalizado, el cliente tiene dos opciones: 1. Contratar un servicio de mantenimiento, que generalmente cuesta entre el 10 y el 20% del precio original del láser; ó 2. Tener a alguna persona que se haya formado en la fábrica para su formación en el mantenimiento y reparación del láser. Este último generalmente es preferible si el comprador tiene varios láseres de los mismos o diferentes fabricantes.

Precio de compra del sistema láser

Salvo en los casos en los que se haya presupuestado una cantidad fija para un láser quirúrgico que se debe adquirir ahora o nunca, el precio debería ser el último factor a tener en cuenta después de que se hayan realizado las siguientes consideraciones. Esto no quiere decir que todos los precios sean iguales o aún comparables, por el contrario, pueden variar ampliamente incluso para una misma clasificación de láser. El precio es un factor importante, pero al juzgar los precios comparativos de los equipos de la competencia, el comprador debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Todos los láseres quirúrgicos son más caros en comparación con los dispositivos electro quirúrgicos.

2. Los precios de los sistemas láser están en el rango de las decenas de miles de euros, e incluso más de la centena de miles de euros, aunque los láseres usados se pueden adquirir por bastante menos precio. La recuperación de la inversión se basa en el número previsto de los procedimientos que se van a realizar a través del tiempo, lo que se puede cobrar por los diversos procedimientos y el beneficio operativo, todo ello debe ser cuidadosamente considerado.

3. Algunas compañías han puesto en peligro su viabilidad económica mediante la reducción de los precios para vencer a sus competidores; un láser a precio de ganga es una mala adquisición si posteriormente el fabricante se declara en quiebra después de la venta.

4. Los láseres comprados para procedimientos IDE (exenciones en dispositivos de in-

vestigación), I+D (investigación y desarrollo, research and development) se venden a un precio al que se le fija el límite superior por la FDA y CEE. Es posible algún tipo de negociación si el fabricante quiere colocar un láser a un particular o institución por razones de prestigio, etc.

5. Los láseres que se venden a través de distribuidores son a veces negociables en el precio. Los distribuidores también pueden ofrecer láseres utilizados a precios reducidos con o sin garantías limitadas, sin embargo, los distribuidores deben recibir retornos que consisten en el mantenimiento de estas instalaciones en relación con el servicio técnico y contratos de mantenimiento con la finalidad de que siga siendo viable.

6. La compra de un láser basada en la aprobación ya no es tan fácil como lo era antes, ya que los láseres ampliamente utilizados como el de CO₂ y el de neodimio:YAG están ahora clínicamente establecidas para una amplia gama de aplicaciones y tanto en la FDA como en la CE hay espacios libres para la mayoría de ellos.

Cursos de entrenamiento iniciales ofrecidos por el fabricante

Varias compañías ofrecen al comprador hoy día la opción de realizar cursos que proporcionan las instrucciones didácticas y prácticas en la utilización de sus láseres en diversas aplicaciones, bien a través sus departamentos clínicos o por el acuerdo con clínicas médicas que los estén empleando. Estos cursos se ofrecen para los médicos, enfermeras y otros técnicos titulados, a veces de forma conjunta o por separado. Además cada fabricante de láseres quirúrgicos con reputación hoy ofrece el entrenamiento para el comprador, habitualmente en el hospital o clínica donde está instalado el láser. Habitualmente, la capacitación o entrenamiento en las aplicaciones, está incluido en el precio del láser. No obstante, los cursos ofrecidos o patrocinados por los fabricantes pueden no tener la misma calidad y objetividad que los impartidos por centros independientes y reconocidos para la enseñanza de la medicina y cirugía láser. Se aconseja siempre y en todos los casos solicitar un *Certificado de Formación* con el láser que se ha adquirido por parte del Departamento Clínico de la compañía fabricante o del hospital o clínica acreditada donde se ha recibido esta formación específica para desempeñar las aplicaciones concretas a las que va a dedicarse.

BIBLIOGRAFÍA

1. UNE EN 60825-1 «Seguridad de los productos laser. Parte 1: Clasificación del equipo, requisitos y guía de seguridad» 1996. Modificada por: UNE EN 60825-1/AI 1: 1997 y con el complemento UNE EN 60825-11A2: 2002.
2. IEC Technical Report IR 60825-10: 2002, “Safety of laser products - Part 10: Application guidelines and explanatory notes to IEC 60825-1.
3. IEC Technical Report TR 60825-8 (1999-11) “Safety of laser products - Part 8: Guidelines for the safe use of medical laser equipment”.
4. U.NE EN 207: 1999 «Filtros y protectores de los ojos contra la radiación láser (gafas de protección laser)».
5. UNE EN 2071A1: 2003, complementa a la anterior.
6. LINE EN 208: 1999 «Gafas de protección para los trabajos de ajuste de láser y sistemas laser (gafas de ajuste láser)».
7. UNE EN 2081A1: 2003, complementa a la anterior.
8. UNE EN 60601-2-22: 1997 «Equipos electromédicos. Parte 2: Requisitos particulares de seguridad para equipos láser terapéuticos y de diagnósticos, eqv. CEI 601-2-22: 95.
9. UNE-EN 12626: 1998 “Seguridad de las máquinas. Máquinas láser. Requisitos de seguridad”, eqv. ISO 11553: 1995 mod. Para riesgos eléctricos remite a CEI 204-1: 1992, «Equipamiento eléctrico de máquinas industriales. Parte 1: Reglas generales.
10. Rupérez MJ. Laseres: riesgos en su utilización. Nota Técnica de Prevención NTP-261, INSHT 1991.
11. Rupérez MJ, Cabrera JA (coordinadores) Algunas cuestiones sobre seguridad láser Ed. INSHT, 1996, 398 pgs. ISBN.: 84-7425-434-5.
12. Fisher JC, Zimmerman EM, Considerations in the selection of equipment. The American Board of Laser Surgery Inc., 2012.
13. Robledo H. Guía médica básica de la ciencia del láser y anestesia local, Editorial Académica Española, 2012.

