



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
DIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
PROGRAMA DE ESPECIALIZACION EN ENDODONCIA**

**EL LÁSER COMO MEDIO ALTERNATIVO EN LA DESINFECCIÓN DEL
SISTEMA DE CONDUCTOS RADICULARES:
UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA EXISTENTE**

Od. Graciela A. Arturo Ianuario

Bárbula, Julio 2013



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
DIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
PROGRAMA DE ESPECIALIZACION EN ENDODONCIA**

**EL LÁSER COMO MEDIO ALTERNATIVO EN LA DESINFECCIÓN DEL
SISTEMA DE CONDUCTOS RADICULARES:
UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA EXISTENTE**

**Trabajo Especial de Grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Endodoncia**

Autora: Od. Graciela A. Arturo Ianuario
Tutor de Contenido: Dr. Francisco Farias
Tutor Metodológico: Dra. Gladys Elena Orozco Mujica

Bárbula, Julio 2013

DEDICATORIA

A mi Dios Todopoderoso

A mi padre

A mi madre

ÍNDICE

	pp.
INTRODUCCIÓN	5
DISCUSIÓN	36
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS	46

INTRODUCCIÓN

A lo largo de las últimas décadas, en un mundo sujeto a notables transformaciones en todos los órdenes, se han suscitado grandes avances en materia de salud que han dado curso a espectaculares progresos concebidos para mejorar la calidad de vida de la humanidad; en este contexto, la tecnología juega un rol fundamental, pues con la incorporación de nuevos avances, se logran alternativas que proveen recursos efectivos a las distintas disciplinas sanitarias para dar solución a las diversas patologías que afectan al ser humano.

En tal sentido, uno de los más notables aportes tecnológicos que se ha ido introduciendo paulatinamente en el ámbito médico y odontológico es el láser, término que corresponde al acrónimo en inglés de las palabras que definen la luz amplificada por la emisión estimulada de radiación, *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, cuya energía interacciona con el tejido diana de cuatro principios básicos: reflexión, absorción, transmisión e interacción, siendo el principio de absorción dependiente básicamente de dos factores: la longitud de onda del láser y las características ópticas del tejido que debe ser irradiado.⁽¹⁾

Así, en el caso específico de la Odontología, el empleo del láser data de 1965, gracias a las experiencias de vaporización de caries con láser rubí; desde esa época y hasta la actualidad, son muchas y diversas las aplicaciones que esta luz estimulada ha ido ganando en la práctica de operatoria dental, donde comenzaron sus primeros usos, extendiéndose a otras especialidades como cirugía bucal y endodoncia pues permite efectuar algunos procedimientos clínicos al aplicarlo en forma precisa y efectiva, gracias al control que se ha logrado en su manejo. De hecho, se atribuye el éxito del empleo del láser en la praxis odontológica y especialmente en Endodoncia, a la capacidad del operador para controlar la salida del rayo y la duración de la exposición sobre tejidos blandos o duros, permitiendo el tratamiento de un área específica sin lesionar los tejidos circundantes.^(2,3)

Ciertamente, desde finales de la década de los noventa y lo que va del siglo XXI, el láser forma parte de las terapias endodónticas alternativas⁽³⁾, y esta modalidad se encuentra sometida a constantes estudios y desarrollo, por lo cual su empleo se ha visto favorecido por la

aparición de diversas longitudes de onda que eliminan o modifican los tejidos duros dentales de forma más predecible, resultando de gran utilidad cuando se aplican para eliminar pulpa y ganar acceso a los conductos radiculares para lograr una efectiva limpieza, en lo que se refiere a la eliminación del contenido microbiano y orgánico; de allí, que se emplee frecuentemente en el campo de la desinfección del sistema de conductos radiculares, debido a que los microorganismos causantes de las patologías pulpares y periapicales son difíciles de erradicar totalmente de los conductos, lo cual obstaculiza uno de los aspectos primordiales en el éxito del tratamiento endodóntico: la desinfección completa del sistema de conductos radiculares (SCR),⁽⁴⁾ y este sentido, debe mencionarse que los procedimientos endodónticos clínicos convencionalmente recurren a la instrumentación mecánica y a la irrigación intraconducto con sustancias químicas como el hipoclorito de sodio (NaOCl) por nombrar al agente irrigador de mayor uso, los cuales contribuyen a reducir enormemente la carga microbiana dentro del SCR⁽⁵⁾, sin embargo, los agentes químicos pueden no lograr el objetivo de la desinfección completa, debido a que los microorganismos llegan a evitar los efectos letales de la preparación químico-mecánica al introducirse en los canalículos dentinarios vacíos y mediante la adherencia a las superficies de la dentina disponible, formando biopelículas (cuyo término en inglés es Biofilm) que les sirven de protección contra tales agentes químicos,^(6,7) sin olvidar que estas sustancias resultan tóxicas cuando alcanzan los tejidos periapicales.

Por otra parte, ciertas especies microbianas poseen la capacidad de sobrevivir en un ambiente en el cual la disponibilidad de nutrientes es limitada o escasa y además, en el biofilm las bacterias se encierran dentro de una matriz polimérica extracelular autoproducida, creando una comunidad microbiana sésil, que se caracteriza por un fenotipo alterado que junto a la matriz del biofilm, los protege dejándolos fuera del alcance de los agentes químicos antibacterianos como los antibióticos o los desinfectantes utilizados durante el procedimiento de irrigación^(6,7,8), lo que permite que ciertos microorganismos sobrevivan a la terapia endodóntica, estando éstos involucrados en el fracaso de ésta, y este puede ser el caso del *Enterococcus faecalis*, un coco anaeróbico facultativo gram-positivo que en 78% de los casos ha sido el patógeno más asociado a las lesiones periapicales persistentes, gracias a sus características fenotípicas y a la presencia de determinados factores de virulencia, como su capacidad para formar biofilm y de colonizar los túbulos dentinarios hasta 800 micrómetros

(μm) o más de profundidad, así como de sobrevivir en medios con pocos o escasos nutrientes e invadir espacios o aberraciones anatómicas, donde acciones como la preparación biomecánica, la colocación de medicación intraconducto y/o la utilización de irrigantes no son capaces de eliminarlo, dada su habilidad para crecer en medios con pH ácido y alcalino, así como en medios altamente osmóticos debido a su condición de halófilo, lo que le permite sobrevivir en medios que contengan hasta 6,5% de sales como el cloruro de sodio y sus derivados como es el NaOCl; por estas razones, ha sido el microorganismo más utilizado en ensayos e investigaciones clínicas sobre el fracaso endodóntico.^(7,8,9,10)

Dentro de esta perspectiva, es necesario señalar que además del NaOCl para la desinfección del SCR, también se emplean otros agentes químicos como el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), pero este medicamento requiere de varios recambios, ya que en presencia de líquidos orgánicos, se transforma en carbonato de calcio, y como consecuencia, se torna inefectivo en la eliminación total de la infección endodóntica, aumentando el período de tratamiento, lo que consume tiempo del paciente/tratante y puede aumentar el riesgo de fracaso de la terapéutica, y además, su uso a largo plazo ha demostrado ser perjudicial para la dentina pues disminuye su resistencia, aumentando el riesgo de fractura y por ello, aumenta las posibilidades del fracaso endodóntico si la raíz cede ante fuerzas que ocasionen el quiebre de la integridad del tejido dentinario radicular.^(11,12)

Como es sabido, la desinfección del sistema de conductos radiculares depende principalmente del uso de sustancias químicas con capacidad antimicrobiana, pero como se ha descrito previamente, una de las limitantes es que ningún irrigante, por sí solo, es capaz de eliminar todos los microorganismos del SCR, como tampoco es capaz de disolver totalmente el material pulpar orgánico y predentina, así como desmineralizar la porción calcificada orgánica de las paredes del conducto⁽¹³⁾, en consecuencia, la irrigación del conducto radicular enfrenta varios desafíos que influyen sobre su principal objetivo: la desinfección completa del SCR, ya que se debe destacar que las diferentes especies bacterianas localizadas en áreas como istmos, ramificaciones, deltas, irregularidades y túbulos dentinarios, pueden no ser afectadas por los procedimientos rutinarios de desinfección endodóntica, sobre todo cuando se enfrenta con el problema de la anatomía de la porción apical del conducto radicular, que en la

mayoría de los casos conlleva al fracaso del tratamiento endodóntico, además del potencial citotóxico si ganan acceso a los tejidos periapicales, accidente muy común con el uso del hipoclorito de sodio, pero que también puede ocurrir con otros irrigantes, causando dolor e irritación^(8,10,11). En paralelo, la exposición a largo plazo a concentraciones altas de NaOCl ($\geq 5,25\%$) puede llevar a una reducción considerable de la fuerza flexural y el módulo de elasticidad de la dentina.^(7,11)

Por tales razones, en la búsqueda para mejorar o apoyar la desinfección química del SCR, se ha recurrido a la irrigación por ultrasonido, que en combinación con el líquido irrigante produce que las ondas de choque producidas por el fenómeno de cavitación viajen a través del líquido, y aunque dichas ondas no tienen la capacidad de remover la capa de desecho dentinario de las paredes del conducto radicular por sí misma, sí potencian la acción biológica de la solución irrigante e incrementan su efecto de limpieza sobre las paredes del conducto radicular⁽¹⁴⁾, sin embargo, el problema en este caso es que los instrumentos ultrasónicos deben tener un movimiento libre dentro del conducto sin hacer contacto con sus paredes para trabajar efectivamente; por ello, la anatomía comprometida de algunos conductos radiculares no siempre facilita este mecanismo de acción,^(14,15) en consecuencia a las limitaciones relatadas para la desinfección total del SCR, surge una nueva alternativa: el empleo de diferentes tipos de láser, resaltados en la literatura desde mediados de los noventa del siglo pasado hasta la fecha, que incluye gran cantidad de estudios cuyo objeto ha sido investigar la efectividad del láser en la desinfección requerida por el tratamiento endodóntico, específicamente de aquellos destinados a la desinfección del SCR, conocidos como Neomidio Ytrio Aluminio Granate (Nd:YAG), Erblio Ytrio Aluminio Granate (Er:YAG), Erblio Cromo Ytrio Escandio Galio Granate (Er,Cr:YSGG) y el Diodo láser⁽²⁾, cada uno de los cuales ha sido empleado como opción para sustituir o complementar los tradicionales agentes químicos de irrigación, y en consecuencia, resulta de interés tanto científico como profesional, indagar sobre el empleo del láser como recurso alternativo para la desinfección del SCR, pues si bien es cierto que el tratamiento endodóntico es exitoso cuando se crea un acceso adecuado al sistema pulpar y se realiza un apropiado desbridamiento, a partir del creciente conocimiento de las poblaciones microbianas observadas en el sistema de conductos radiculares, la desinfección se convierte, junto al buen sellado apical y coronario logrado en la obturación,

en protagonista esencial, a fin de impedir que se produzcan reinfecciones, sin olvidar una adecuada restauración coronal.

En este particular, se considera que los fallos de la terapia endodóntica, como son procesos inflamatorios persistentes en la estructura de soporte perirradicular del diente; sobre o subobturación, sobreextensión, fractura de instrumentos y otras, se relacionan con factores del huésped o iatrogénicos, pero en general se deben al desarrollo de infecciones asociadas a la presencia de microorganismos que no pudieron ser destruidos durante el procedimiento de desinfección, siendo esto la mayor causa de fracaso, la cual esta en el orden de 25 a 40% ⁽¹⁶⁾, de allí, la importancia de buscar métodos, recursos y técnicas alternas y/o complementarias a la tradicional irrigación de agentes químicos para la desinfección del SCR a objeto de disminuir la necesidad de retratamiento y elevar las expectativas de preservación de la unidad dental tratada, que es precisamente la finalidad de la terapia endodóntica. Sobre tales consideraciones, se fundamentaron las interrogantes que dieron lugar a los objetivos de la presente investigación:

¿Cuál es la utilidad de los láser Neomidio Ytrio Aluminio Granate (Nd:YAG), Erbio Ytrio Aluminio Granate (Er:YAG), Erbio Cromo Ytrio Escandio Galio Granate (Er,Cr:YSGG) y Diodo láser en la desinfección que requiere el tratamiento endodóntico?, ¿Cuál es la capacidad de los láser endodónticos en contraste con los irrigantes químicos para la desinfección del sistema de conductos radiculares?

Justificación e Importancia

El objetivo primordial de la endodoncia es la eliminación de los tejidos enfermos, así como de los irritantes tóxicos-bacterianos del interior de los conductos radiculares (limpieza, desinfección y conformación), seguido de la obturación tridimensional hermética de los mismos, con la finalidad de mantener el mejor estado de salud estomatognática; así, el ideal del tratamiento endodóntico es dejar un conducto aséptico, logrando una esterilización total, es decir, sin ningún microorganismo vivo, lo que expresa la relevancia que posee la desinfección en términos de éxito y fracaso, y de esto emana la importancia del presente estudio de revisión como aporte disciplinario, pues describe y compara experiencias y resultados obtenidos en la realización de investigaciones aplicadas en torno al empleo del láser como recurso alternativo y/o complementario a la irrigación química en la terapia endodóntica, beneficiando de tal forma a estudiantes, profesionales odontólogos y especialistas en Endodoncia.

Por otro lado, el compendio y análisis de los hallazgos reportados en un importante número de publicaciones indizadas en torno a la desinfección del sistema de conductos radiculares, implica una contribución valiosa para el área Rehabilitación del Sistema Estomatognático, Línea Endodoncia de la Facultad de Odontología de la Universidad de Carabobo y la comunidad universitaria, pues permite acceder a información científica vigente en torno al empleo del láser en Endodoncia, y a la vez, se estima su valor como aporte teórico, pues podrá ser útil para estudiantes y especialistas como fuente de consulta y referencia para quienes en el futuro se interesen por realizar investigaciones en torno al empleo del láser en Odontología en general y en Endodoncia en particular.

Finalmente, se destaca el aporte metodológico de la investigación, pues podrá servir como estímulo a la actividad investigativa destinada a conocer la experiencia en el empleo del láser por parte de quienes ejercen como especialistas en Endodoncia a nivel local, regional, nacional e internacional.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Analizar el láser en Endodoncia como medio alternativo en la desinfección del sistema de conductos radiculares mediante la revisión de la literatura existente.

Objetivos Específicos

1. Describir la utilidad de los diferentes tipos de láser en la desinfección del sistema de conductos radiculares.

2. Contrastar la capacidad de los láser endodónticos respecto a los irrigantes químicos para la desinfección del sistema de conductos radiculares.

Antecedentes

En materia de empleo del láser, que representa una de las tecnologías relativamente nueva en el campo de la endodoncia, y específicamente en lo relativo a la desinfección de conductos radiculares durante la terapia endodóncica, se han desarrollado numerosas investigaciones en los últimos años, con el fin de conocer los efectos reales de esta luz como bactericida, así como los efectos colaterales secundarios que ésta pueda producir, y a este respecto, se han seleccionado solo algunas de ellas que presentan relación directa con el tema tratado, o fueron de interés teórico-metodológico para la presente revisión. En este orden de ideas, se tratará de desarrollar los tipos de láser mas estudiados en la desinfección de los conductos a fin de organizar los eventos más resaltantes.

Con relación al láser Nd:YAG, y en orden cronológico, se ubican en primera instancia Vielma et al. (2012)⁽¹⁷⁾ quienes publicaron un estudio destinado a describir las aplicaciones del láser en la Odontología a través de una revisión de la literatura; el análisis de la recopilación realizada, llevó a concluir que el dispositivo empleado con mayor frecuencia en el campo odontológico, y en especial en la terapia de conductos radiculares, es el denominado Nd:YAG por su gran variedad de aplicaciones tales como desinfección del sistema de conductos radiculares, preparación y obturación de conductos, apicectomía y tratamiento de la hipersensibilidad dentinaria.

En cuanto a la desinfección de conductos radiculares, Pirnat et al. ⁽¹⁸⁾, en el 2011, evaluaron in vitro el efecto bactericida directo de este láser bajo condiciones estándar, y para ello usaron un método nuevo con un sustrato altamente transparente compuesto por láminas de zafiro inoculadas con suspensiones bacterianas de *E. coli*, *E. faecalis* y *P. gingivalis*, operando el dispositivo con potencia de 1,5 W en modo pulsátil a 15 Hz, sin rocío de agua ni enfriamiento con aire, irradiando desde el lado contrario al lado inoculado de la lámina de zafiro, en modo de contacto cercano (0,7 mm), y con barrido circular de ciclos de 5 segundos e intervalos de 15 segundos. Los resultados, reportan que el efecto bactericida del láser seleccionado fue reducido con las especies *E. faecalis* y *E. coli*, indicando que bajo la dosis de irradiación recomendada como segura in vivo (1,5 W, 100mJ, 150 ms, 15 Hz), el contacto cercano sobre estas especies bacterianas, no fue tan efectivo con estas bacterias como lo fue

para la especie *P. gingivalis*, que sí fue lábil al calor localizado del láser. De allí, que consideren haber obtenido un efecto bactericida muy limitado, ya que solo se afectó a una de las tres especies bacterianas en prueba. No obstante, Pirnat y colaboradores, señalan que el efecto bactericida limitado del láser Nd:YAG in vitro sobre estas especies, no puede considerarse concluyente ya que la aplicación de la irradiación fue en contacto cercano al microorganismo a través de un sustrato a base de zafiro, que no es precisamente lo que ocurre en condiciones clínicas donde el sustrato es la dentina con propiedades ópticas distintas por su composición química orgánica e inorgánica.

Por otra parte, Franzen et al, en 2011⁽¹⁹⁾, cotejaron la capacidad bactericida del Nd:YAG con relación a la profundidad del sustrato mediante la irradiación con este láser, con pulsos de duración de 25 y 156 ms, a través de su transmisión en cortes de dentina de 500 a 1000 micras (μm), es decir, de medio a un milímetro de grosor infectadas con *E. faecalis*, empleando asimismo una fluencia de energía de 300 J/cm² y una punta de fibra de 200 μm , usada rutinariamente en el tratamiento endodóntico con láser. Reportan, que a la profundidad de 1.000 μm se evidenció una reducción bacteriana de 29,2% (pulso 25 ms) y 50% (pulso 156 ms), mientras que a profundidades de 500 μm las reducciones fueron de 49% (pulso 25 ms) y 70% (pulso 156 ms), por lo que deducen que la profundidad de la dentina a la cual se aloje el microorganismo sigue siendo una limitante para una fuente de desinfección lumínica que en este caso fue el láser Nd:YAG.

Por su parte, Meire y colaboradores en el 2011⁽²⁰⁾, compararon la acción antimicrobiana in vitro de la irradiación del láser Nd:YAG y Er:YAG sobre diferentes organismos asociados con las infecciones endodónticas (*E. faecalis*, *P. acnés* y *C. albicans*) en placas de agar, cuantificando la dosis de irradiación requerida para la inactivación microbiana; así, el láser Nd:YAG aplicado sobre las placas inoculadas se operó con pulsos de longitud variable entre 10 y 120 seg, potencia de 1,5 W y frecuencia de 100 Hz, teniendo como hallazgo la inhibición del crecimiento de las bacterias de prueba, excepto la *E. faecalis*, por lo que tuvo que aumentarse la densidad de energía por encima de 2400 mJ, concluyendo que el láser Nd:YAG requirió de secuencia de pulso con densidades de energía muy alta para inhibir el crecimiento del *E. faecalis*, a diferencia del láser Er:YAG que sí logró inhibir el crecimiento de este coco con un solo pulso utilizando densidades de energía bajas (menos de 220 mJ), destacando la superioridad de este láser sobre el Nd:YAG en cuanto al poder bactericida.

Otro estudio publicado en 2010 por Esteves y asociados ⁽²¹⁾, evaluó el efecto ex vivo de tres láser, como son el Nd:YAG, Er:YAG y de Diodo láser sobre la permeabilidad y la morfología de la pared del conducto radicular, utilizando dientes humanos recién extraídos los cuales fueron divididos en 4 grupos: Un grupo control sin irradiación, un grupo irradiado con el láser Er:YAG a una longitud de onda de 2,940 nanómetros (nm), otro irradiado con el láser Nd:YAG a una longitud de onda de 1,064 nm y un cuarto grupo irradiado con Diodo láser, utilizado a 810 nm. Los resultados, reportan que de los tres láser fue el Er:YAG quien tuvo el valor más alto de aumento de la permeabilidad, sin causar daños en la morfología de la pared dentinaria debido a que su longitud de onda es bien absorbida por el agua y la matriz orgánica de la dentina, siendo la longitud de onda de 1,064 nm del Nd:YAG, quien presentó los valores de permeabilidad más bajos que los otros dos, produciendo en su lugar un aumento de la temperatura que llevo al derretimiento y la fusión de la morfología de la pared dentinaria del conducto radicular. Según dichos autores, la alteración de este tejido, se debe al calor producido por este láser, que aunque no deseado, pudiera ser útil ya que al encerrar dentro de los túbulos dentinarios a los microorganismos sobrevivientes, quedan aislados del conducto radicular principal, lo cual sería beneficioso en los casos de tratamiento endodóntico en una sola cita, y además consideraron al láser Nd:YAG como un instrumento de aplicación bactericida en profundidades mayores de la dentina. Así, de acuerdo a la evidencia que presenta esta investigación, se ratifica que la longitud de onda de 1,064 nm del láser Nd:YAG no es absorbida por el agua ni por la matriz orgánica de la dentina, produciendo en su lugar un aumento de la temperatura que lleva al derretimiento y la fusión de la morfología de la pared dentinaria del conducto radicular.

En otro orden de ideas, Parés (2009) ⁽²²⁾, también estudió la aplicación del láser Nd:YAG en las diferentes disciplinas de la Odontología; y de acuerdo al análisis efectuado, esta investigadora resalta a la Endodoncia como una de las especialidades más beneficiadas por esta tecnología, concluyendo entre otros aspectos, que las experiencias y resultados obtenidos con los diferentes tipos de láser llevan a pensar que en el futuro inmediato se podrán obtener mejoras interesantes en los tratamientos endodónticos, especificando de igual forma que este láser revela un nítido efecto bactericida, tanto en el interior del conducto como en casos de recesión de ápice de raíz.

Meire y colaboradores, esta vez en el 2009⁽²³⁾, compararon la acción antibacteriana de la irradiación recomendada como segura del láser Nd:YAG (1,5W, 15 Hz) y la acción del NaOCl al 2,5% sobre el *E. faecalis*, usando un cultivo puro del agente infectante (modelo in vitro) y dientes humanos extraídos (modelo ex vivo). Como resultado en el modelo in vitro, la irradiación del Nd:YAG, no redujo eficazmente el número de *E. faecalis* sobrevivientes, mientras que el NaOCl eliminó todas las células presentes, en tanto que en el modelo ex vivo el láser Nd:YAG redujo el número de *E. faecalis*, pero con el uso de NaOCl, se obtuvo mayores reducciones, pero no una eliminación total. Según estos investigadores, la diferencia de la reducción bacteriana mostrada por el NaOCl en ambos grupos, se debió, por una parte, a la inactivación del NaOCl por los componentes orgánicos de la dentina radicular, y por otra, a su imposibilidad de penetrar mucho en los túbulos dentinarios.

Con el mismo fin, Átala en el 2008⁽²⁴⁾, en un estudio descriptivo longitudinal cuasi experimental en la modalidad estudio de casos denominado “El láser Nd:YAG en la desinfección de conductos radiculares en unidades dentarias con necrosis pulpar”, tomó como muestra en un primer grupo cuatro unidades dentales desinfectadas con irrigación química asistida con láser y un segundo grupo cuatro con desinfección convencional. Los resultados, mostraron que todas las unidades del segundo grupo presentaron crecimiento bacteriano desde el primer control, realizado a las 48 horas, mientras que en tres del primer grupo no se observó crecimiento bacteriano, en tanto que en una unidad dental se apreció *E. faecalis* en el primer control, siendo negativo a las 72 horas. En consecuencia, concluye la investigadora que si bien no se encontraron diferencias estadísticamente significativas dado el tamaño de las muestras, quedó en evidencia la necesidad de seguir poniendo a prueba la efectividad del láser como complemento de la terapia endodóntica y de crear nuevos fármacos intraconducto, con la finalidad de lograr mayor efectividad en la eliminación de microorganismos que ponen en riesgo el éxito de la terapéutica endodóntica.

Con base al empleo del láser Er:YAG, ya se revisaron los estudios de Meire en el 2011⁽²⁰⁾ y Esteves en el 2010⁽²¹⁾, donde lo comparaban con otras fuentes luminosas, pero Di Vito y colaboradores en el año 2012⁽²⁵⁾, evaluaron la capacidad y efectividad de este láser para remover el barro dentinario del conducto radicular, utilizando un nuevo diseño de punta de fibra óptica de tipo radial. La irradiación fue posterior a la instrumentación tradicional. Los resultados revelaron túbulos dentinarios abiertos en las muestras irradiadas por 40 seg. Los

autores concluyeron que el láser fue capaz de remover barro dentinario permitiendo túbulos dentinarios abiertos y que puede ser útil como herramienta complementaria que permitiría una mejor acción de la irrigación química convencional al ofrecer túbulos dentinarios abiertos y la remoción del barro dentinario.

En relación a la combinación del láser Er:YAG con agentes irrigantes para la desinfección del SCR, es de interés el reporte de Peters et al. en 2011⁽²⁶⁾, quienes analizaron el procedimiento conocido como Prolongación Fotoacústica Iniciada por Fotones (PFIF), a través del cual el láser genera una onda de choque en la solución irrigadora y ésta a su vez produce la cavitación necesaria para activar pasivamente al irrigante en dientes humanos ex vivo, creando un reservorio a nivel del tercio coronal de cada conducto radicular, donde se aplicó la sustancia para irrigación (NaOCl 6%) y no directamente dentro del conducto radicular, siendo el agente infectante el *E. faecalis*. El NaOCl fue activado por 30 segundos con el láser Er:YAG usando un diseño nuevo de fibra óptica de 21 mm de largo y 400 µm de diámetro y, como resultado, el grupo que se irrigó solo con NaOCl al 6% produjo una reducción bacteriana de 96,6%, mientras que en el grupo de activación ultrasónica pasiva redujo la población microbiana a 98,5% y el grupo con activación láser mediante PFIF obtuvo una reducción del 99,5%, observándose ligero incremento de la acción bactericida de este irrigante cuando se activa con la prolongación fotoacústica.

En el empleo del láser Er:YAG como recurso para la desinfección del SCR, Noiri et al. (2008)⁽²⁷⁾, examinaron los efectos de este láser sobre biofilms formados por entidades microbiológicas tales como *A. naeshundii*, *E. faecalis*, *L. casei*, *P. acnes*, *P. gingivalis* y *P. nigrescens* in vitro; informando, que después de la irradiación el número de células viables en los biofilms estaba significativamente decrecido, mientras que se observaron morfológicamente cambios atróficos en las células bacterianas y reducciones en la densidad celular del biofilm. Concluyeron, por lo tanto, que este láser también puede ser utilizado como supresor y removedor de los biofilms en los tratamientos endodónticos.

Helvacioğlu y colaboradores, en el 2008⁽²⁸⁾, al igual que Esteves (2010)⁽²¹⁾, evaluaron los resultados de los láser Er:YAG y Nd:YAG sobre las paredes del conducto radicular después de la irradiación, en cuanto a la permeabilidad de la dentina y el barro dentinario, utilizando una potencia de 1,8 W, pulso de energía de 120 mJ y una frecuencia de 15 Hz, pero

empleando un diseño de punta de fibra óptica que solo permitía la emisión del rayo en sentido frontal y no radial, obteniendo evidencia interesante, en cuanto que ni el láser Nd:YAG ni el Er:YAG fueron efectivos en remover el barro dentinario y los residuos cuando se usa un diseño de punta de fibra óptica cuya emisión del rayo es paralela a las paredes del conducto. El Er:YAG resultó más favorable al no causar daño térmico.

Por su parte, Toshie et al., en 2006⁽²⁹⁾, evaluaron la eficacia del láser Er:YAG sobre un biofilm microbiológico apical en dientes humanos extraídos con lesiones periapicales, usando una potencia de energía de 3,5 W; y un diseño experimental de punta de fibra óptica de emisión radial que permitía un patrón de distribución de la energía con irradiación amplia y alta difusión, teniendo como resultado que el uso del láser Er:YAG con los parámetros mencionados, más el uso con el diseño experimental de punta de emisión radial, tuvo un buen efecto bactericida sobre un biofilm, permitiendo además la vaporización (ablación) de manera segura de las áreas apicales contaminadas, involucrando solamente a las superficies contaminadas sin alterar a la dentina subyacente.

Por otro lado, con relación al láser Er,Cr:YSGG, Dewsnup y asociados, en 2010⁽³⁰⁾, utilizaron un diseño de punta de fibra óptica radial para evaluar la reducción bacteriana en conductos rectos y curvos en dientes monoradiculares recién extraídos, comparando este láser con la técnica de irrigación tradicional con NaOCl al 6,15% combinado con RC-prep®, siendo el agente infectante utilizado *E. faecalis*. La efectividad desinfectante y quelante del láser fue igual a la obtenida mediante los agentes químicos, aunque se notó una tendencia de crecimiento bacteriano en el post-tratamiento de los conductos curvos irradiados. Ellos concluyen que dichos hallazgos, pueden explicarse teniendo en cuenta la desviación de la luz del láser lejos de la pared del conducto radicular curvo durante la irradiación, lo cual sería una aparente limitación en su uso en estos casos; dicha evidencia, sugiere un uso alternativo del láser Er:CrYSGG, ya que su rendimiento fue igual al del NaOCl al 6,25% y al de la sustancia quelante utilizada (RC-prep®).

En otro estudio, Franzen et al. (2009)⁽³¹⁾, analizaron in vitro la eficacia desinfectante del láser Er,Cr:YSGG con el de Er:YAG, en la eliminación del *E. faecalis* a profundidad de 500 µm, usando una potencia de energía muy baja (0,25 W, fluencia 3,13 mJ); como resultado obtuvieron reducción estadística significativa de esta bacteria con el láser Er,Cr:YSGG mejor

que con la obtenida por el Er:YAG; asimismo, en cuanto a los cambios morfológicos producidos por ambos, la evaluación mostró que sus longitudes de onda (Er:YAG 2,940 nm y Er:CrYSGG 2,780 nm) presentaban cambios morfológicos similares, sin señales de carbonización o derretimiento, así como sin barro dentinario, y en consecuencia, amplia exposición de las entradas de los túbulos dentinarios.

Además, Schoop y colaboradores en el 2009⁽³²⁾, investigaron el efecto bactericida y quelante del láser Er,Cr:YSGG utilizando dientes humanos extraídos y como agentes infectantes la *E. coli* y *E. faecalis*, empleando una potencia de 0.9 W con puntas de emisión radial, reportando estos autores que este láser, con este diseño de punta, redujo efectivamente ambas cepas bacterianas, con efectiva remoción del barro dentinario, destacando que la temperatura no excedió los 3,2°C en ninguno de los grupos probados.

También Eldeniz et al. (2007)⁽³³⁾, compararon la eficacia de un procedimiento de irrigación estándar con NaOCl al 5,25% y la irradiación del láser Er,Cr:YSGG en conductos radiculares contaminados con *E. faecalis*. Los resultados, mostraron que en el grupo irrigado con NaOCl no se detectaron bacterias, mientras que en el irradiado con láser Er,Cr:YSGG se obtuvo una reducción del *E. faecalis* pero no la esterilización completa de los conductos.

Altundasar E. y colaboradores en el 2006⁽³⁴⁾, utilizaron un diseño de punta de fibra óptica de emisión vertical y frontal para evaluar los cambios ultramorfológicos e histoquímicos sobre la dentina radicular de dientes monoradiculares recién extraídos, comparando el láser Er,Cr:YSGG con la técnica de irrigación tradicional con NaOCl al 5,25% solo o combinado con RC-Prep®. Las muestras bajo el MEB mostró que en el grupo irradiado con el láser Er,Cr:YSGG no hubo una remoción efectiva del barro dentinario en comparación con el NaOCl al 5,25% solo o combinado con RC-Prep®. Los resultados mostraron que la acción quelante del láser no fue efectiva. Los autores señalan que en ese estudio el diseño de la punta de fibra óptica utilizada solo permitía la emisión vertical y frontal del láser y se presume que esto pudo haber impedido su posible acción quelante.

Con relación al Diodo láser y su efecto bactericida, Beer y asociados(2012)⁽³⁵⁾, evaluaron in vitro su desempeño para la eliminación de *E. coli* y *E. faecalis* en los conductos radiculares de dientes humanos, utilizando longitudes de onda de 810 nm y 940 nm, ambas de alta potencia, reportando que este láser a 810 nm redujo la *E. coli* en 98,66% mientras que a

940 nm la reducción se tasó en 98,8%, en tanto que en el caso de la *E. faecalis* la reducción a 810 nm se ubicó a 76,06% mientras que a 940 nm fue a 78,15%; sin embargo, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos experimentales y aunque los investigadores sugieren que la longitud de onda del Diodo láser operado a 810 nm y 940 nm es útil como bactericida, no es del todo preciso como para concluir de manera significativa la acción de dicho láser sobre el *E. faecalis* en particular.

Por su parte, Castelo P. (2012)⁽³⁶⁾, elaboró un trabajo de campo experimental in vitro destinado a estudiar la posibilidad de un efecto sinérgico combinado de NaOCl y Diodo láser en la limpieza y desinfección del SCR. Los resultados muestran que el uso de este láser solo no están efectivo que cuando se usa combinado con el NaOCl, por lo que la eficacia bactericida se ve potenciada cuando se combina el láser de diodo con NaOCl, tratándose esta de una técnica segura.

Por su lado, Silva y colaboradores en el año 2011⁽³⁷⁾, evaluaron el efecto antibacteriano, in vitro, de la Terapia Fotodinámica (TFD), utilizando dientes con periodontitis apical crónica que contenían *E. faecalis*. Las muestras fueron distribuidas en tres grupos experimentales, a diferentes tiempos y potencias. Los grupos mostraron una reducción de 99,86%, 99,88% y 99,92% respectivamente, lo cual, aunque no es una diferencia estadísticamente significativa, se concluye que la TFD es una alternativa eficaz para la eliminación de *E. faecalis*, microorganismo persistente en los casos de fracaso del tratamiento endodóntico.

En otro estudio, Lim y colaboradores en el año 2009⁽³⁸⁾, también evaluaron la eficacia antibacteriana de este láser basada en la desinfección activada por luz (LAD o TFD), sobre modelos de biofilms maduros e inmaduros conteniendo *E. faecalis* en la dentina de los conductos radiculares. Para este estudio utilizaron 85 dientes extraídos y sometidos a autoclave y luego se contaminaron con esta bacteria y las dividieron en dos grupos. En el primero se utilizó irrigación convencional con NaOCl al 5,25% solamente y el segundo grupo se trató con la misma concentración de NaOCl mas la TFD. Los resultados de este experimento indican que con la técnica TFD la acción antibacteriana fue significativamente mas alta, casi del 100 % (99,99 %), ya que el fotosensibilizador penetra en los conductillos dentinarios hasta 2 mm de profundidad lo que no se logra al irrigar solamente con NaOCl, lo

cual indica que el procedimiento endodóntico convencional mas la aplicación de la técnica TFD resulta altamente efectiva en la desinfección de los conductos radiculares.

Por otra parte, George S. y colaboradores en el año 2008⁽³⁹⁾, reportaron los mecanismos involucrados y la influencia del solvente fotosensibilizador en la eliminación del *E. faecalis* usando la terapia fotodinámica (TFD). Este agente infectante fue incubado con 100 μ moles de azul de metileno disuelto en una mezcla de glicerol, etanol y agua, seguidamente fue irradiado con Diodo láser a 664 nm., con el objeto de analizar el efecto de la TFD sobre la viabilidad de la bacteria y la integridad funcional de la pared celular, el ADN cromosómico y las proteínas de membrana. Los hallazgos de ese estudio demostraron que la TFD destruyó la integridad funcional de la pared celular, el ADN y las proteínas de membrana del *E. faecalis*. El grado de daño sobre estas estructuras fue influenciado por el solvente fotosensibilizador usado durante la TFD.

En una investigación publicada por Pineda et al., en el año 2008⁽⁴⁰⁾, denominada “Comparación in vitro de la desinfección del sistema de conductos radiculares con NaOCl al 5,25% y láser Diodo” donde se estudió comparativamente la eficacia de la desinfección entre el Diodo láser y el NaOCl al 5,25 para erradicar al *E. faecalis* en dientes humanos. Como resultado se observó en el grupo irrigado con NaOCl al 5,25% mostró ausencia de bacterias a 1 μ m de profundidad de la dentina, mientras que en el grupo irradiado con Diodo láser se observó una discreta menor desinfección a idéntica profundidad, aunque la diferencia entre ambos grupos no fue estadísticamente significativa.

Como la desinfección es una parte básica en la ejecución del tratamiento endodóncico, por lo cual es obligatorio hacer debido énfasis en la consecución de este objetivo, paso que se logra con una eficiente y concienzuda irrigación del SCR, y para ese logro, se dispone de una serie de sustancias que se llevan al interior de ellos.

Irrigación en la Terapia Endodóntica

En Endodoncia, se entiende por irrigación el lavado de las paredes del conducto radicular con una o más soluciones antisépticas y la aspiración de su contenido con aparatos de succión y auxiliados con conos de papel. La irrigación de la cámara pulpar y del SCR es una intervención indispensable durante el tratamiento endodóntico y como último paso antes del sellado temporal u obturación definitiva.^(11,41) Teniendo los siguientes objetivos:

1. Limpieza o arrastre físico de trozos de pulpa esfacelada, sangre líquida o coagulada, virutas de dentina, polvo de cemento, plasma, exudados, restos alimenticios, medicación anterior, así como disolver tejidos necróticos remanentes. Cabe señalar, que la acción de conformación del SCR genera detritos que pueden provocar una respuesta inflamatoria, y la irrigación por sí misma puede expulsar estos materiales y minimizar o eliminar su efecto.

2. Acción detergente y de lavado por acción mecánica y liberación de oxígeno desprendido de los medicamentos usados.

3. Acción antiséptica o desinfectante, propia de los fármacos empleados, que lisan bacterias y sus subproductos como endotoxinas, exotoxinas, enzimas líticas y otros.

4. Acción blanqueante, debido a la presencia de oxígeno nascente, dejando el diente así tratado menos coloreado.⁽⁴²⁾

En cuanto a su función, queda claramente delimitada: la irrigación tiene como finalidad lubricar y limpiar el SCR durante y después de la preparación biomecánica, eliminando los

microorganismos, restos orgánicos e inorgánicos, manteniendo el conducto permeable durante el tratamiento, evitando así la acumulación de detritos en el tercio apical ⁽¹⁵⁾.

Se debe tomar en cuenta que al instrumentar las paredes del conducto, se puede formar una capa de desecho que está compuesta de depósitos de partículas inorgánicas de tejido calcificado, aunado a diversos elementos orgánicos como tejido pulpar desbridado, microorganismos y células sanguíneas compactadas en el interior de los conductos, llegando a obstruir parte del conducto y ser a su vez una fuente de reinfección en el mismo, por lo que su remoción reduce la microbiota e incrementa la permeabilidad dentinaria, por lo tanto, mejora la penetración de medicamentos, desinfectantes y materiales de obturación. ^(15, 43, 44)

Las técnicas e instrumentos para irrigar han ido avanzando para mejorar la desinfección y limpieza del SCR, encontrándose en primer término la irrigación manual, mediante una aguja adaptada a jeringa, mientras que la mecánica utiliza cepillos rotatorios, instrumentos sónicos a baja frecuencia y ultrasónicos, así como dispositivos de presión alternante (sistema EndoVac de presión negativa, sistema con cánula abierta a lo largo de su extremo) ⁽⁴⁵⁾. Independientemente del tipo de sistema que se utilice, el objetivo es el mismo: dar entrada de la solución irrigante a lo largo de toda la extensión del SCR, principalmente en el tercio apical, sin embargo, pese a los avances tecnológicos, la irrigación manual convencional es la más utilizada, pues permite controlar el volumen de irrigante y la profundidad de inserción de la aguja. En este sentido, es importante el diámetro, diseño, la inserción de la misma, el calibre apical, la curvatura y conformación de los conductos, la frecuencia de irrigación y las propiedades de la solución ^(11, 41), lo que conduce, precisamente, a revisar las sustancias irrigantes en Endodoncia.

Debido a que no existe una solución irrigadora que tenga la habilidad dual de disolver el tejido orgánico y a la vez desmineralizar la capa de desecho dentinario, se debe considerar el uso secuencial de solventes orgánicos e inorgánicos en el protocolo de irrigación ⁽⁴⁶⁾; en este sentido, es importante mencionar las propiedades que debe tener una solución irrigante ideal:

- a) Ser bactericida o bacteriostática y actuar contra hongos y esporas.
- b) Tener baja toxicidad, es decir, no ser irritante para los tejidos periradiculares.

- c) Disolver tejidos o residuos orgánicos e inorgánicos
- d) Tener baja tensión superficial.
- e) Eliminar la capa de desecho dentinario.
- f) Ser lubricante; además, otras cualidades preferibles serían aplicación sencilla, tiempo de vida adecuado, fácil almacenaje, costo moderado, acción rápida y sostenida. ⁽⁴⁷⁾

Entre los diferentes agentes de irrigación comúnmente utilizados en la práctica endodóntica, se ubican los descritos seguidamente.

Hipoclorito de sodio (NaOCl)

El NaOCl se considera la solución irrigadora más utilizada en la práctica, por ser la que más se acerca a las condiciones ideales por su efectividad para eliminar tejido vital y no vital y poseer además un amplio efecto antimicrobiano. Las concentraciones clínicas varían entre 0,5% al 6%, teniendo un pH alcalino entre 10.7 y 12.2, es excelente lubricante y blanqueador, además posee una tensión superficial baja, una vida media de almacenamiento prolongada y es poco costoso ⁽¹⁵⁾. Sin embargo, resulta un agente irritante para el tejido periapical ⁽¹¹⁾, el sabor es inaceptable por los pacientes y por sí solo no remueve la capa de desecho, ya que solo actúa sobre la materia orgánica de la pulpa y predentina. Así, en vista de que el NaOCl no cumple con dos propiedades como son baja toxicidad y eliminación de la capa de desecho, es necesario combinarlo con agentes quelantes u otras soluciones irrigantes para poder lograr los objetivos de la desinfección del SCR. ⁽⁴⁸⁾

Sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)

Se trata, de una sustancia quelante con pH de 7,3, vale decir, casi neutro, que se emplea en una concentración de 10 a 17% y con la cual se logra reducir a 7 el grado de dureza Knoop de la dentina, que normalmente es de 42 cerca de la luz del conducto no tratado; posee un pequeño efecto antibacterial sobre ciertas especies bacterianas y tiene un alto efecto antimicótico; sin embargo, produce una reacción inflamatoria leve al contacto con tejido blando, erosión de los túbulos dentinarios y en conductos curvos, debe ser usada solo después de la preparación porque puede aumentar la transportación del conducto. ^(13,49)

Sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético con peróxido de úrea (RC-Prep®)

Este quelante, es una solución que contiene 15% EDTA asociado con 10% de peróxido de urea y glicol como base, en consistencia jabonosa; actúa como antiséptico y al liberar oxígeno tiene una efervescencia natural que es aumentada al combinarla con el hipoclorito de sodio, logrando así lubricar y ensanchar conductos estrechos ⁽¹⁵⁾. No obstante, se ha demostrado que el RC-Prep® no remueve completamente la capa de desecho, posiblemente por su bajo pH. ⁽⁵⁰⁾

Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)

El H₂O₂ o agua oxigenada, es un ácido débil usado en Endodoncia al 3% debido a sus propiedades desinfectantes y su acción efervescente, pues la liberación de oxígeno destruye los microorganismos anaerobios estrictos, así como desplaza restos tisulares fuera del conducto, si bien su acción solvente en tejidos orgánicos es mucho menor que la del NaOCl ^(15,42); sin embargo, la mezcla de las soluciones irrigadoras de H₂O₂ al 3% y de NaOCl al 5,25%, produce mayor liberación de oxígeno libre y una formación profusa de espuma, lo que facilita la eliminación de residuos dentinarios y restos de tejidos, por lo que se recomienda emplearla durante el tratamiento para la irrigación de dientes que han permanecido abiertos al medio bucal con el fin de favorecer la eliminación de partículas de alimento, así como también restos que puedan estar alojados en los conductos. Por otro lado, el H₂O₂ puede seguir liberando oxígeno naciente después de cerrar la cavidad de acceso y elevar la presión interna, desencadenando dolor e inflamación. ^(15,51)

Solución salina

Es el irrigador más biocompatible y puede utilizarse solo o acompañado con otras sustancias irrigadoras, ya que no irrita los tejidos orgánicos, pero es escasamente recomendado debido a que no tiene propiedad bactericida ni disolvente de tejido orgánico. Su efecto en el desbridamiento y lubricación del SCR; es susceptible de contaminarse con materiales biológicos extraños por una manipulación incorrecta antes, durante y después de utilizarla;

además, la irrigación con solución salina sacrifica la destrucción química de la materia microbiológica y la disolución de los tejidos mecánicamente inaccesibles, por ejemplo, los tejidos de los conductos accesorios y de los puentes interconductos, siendo también demasiado débil para limpiar los conductos concienzudamente. ^(11,15)

Clorhexidina

La clorhexidina es un antiséptico bis-biguanídico catiónico, que como irrigante endodóntico se utiliza al 0,12% o 2%, con gran sustentividad (tiempo de acción prolongado), posee excelentes propiedades antibacterianas como el NaOCl al 5,25%, posee baja toxicidad, es recomendada como irrigante en pacientes alérgicos al NaOCl e igualmente puede ser utilizada en dientes con ápices abiertos, inmaduros o con perforaciones; pese a estas ventajas, tiene en contra que no posee capacidad de disolver tejido pulpar, por lo cual deben emplearse otros métodos para completar la limpieza de los conductos, como por ejemplo, combinarla con quelantes u otras soluciones irrigadoras, instrumental rotatorio o vibración ultrasónica. ⁽⁵²⁾

Por otra parte, existe gran cantidad de productos comerciales destinados a la irrigación de conductos radiculares, cuya adecuada selección depende del cotejo entre sus propiedades y los efectos deseados en la condición clínica que presente el diente a ser sometido a tratamiento endodóntico, ya que en dientes vitales la contaminación microbiana es quizá incipiente y no requiere agentes con alto poder bactericida, mientras que en los que cursan pulpa necrótica, la limpieza e irrigación persiguen tanto la desinfección del conducto radicular como la neutralización de las toxinas presentes en el contenido necrótico. ⁽⁵³⁾

Láser

El láser, es una de las tecnologías que se han ido introduciendo paulatinamente en el ámbito de las ciencias de la salud; la palabra LÁSER, corresponde al acrónimo en inglés de las palabras que definen este tipo de radiación como luz amplificada por la emisión estimulada de radiación: “*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*”.⁽¹⁾

En efecto, un láser consiste en un medio de ganancia dentro de una cavidad óptica altamente reflexiva, así como también de un medio suplidor de energía para el primero, esto es, un material con propiedades que permiten amplificar la luz mediante emisión estimulada; en su forma más simple, consta de una cavidad formada por dos espejos o lentes, dispuestas de tal forma que la luz rebote pasando cada vez por el medio de ganancia, el cual se define como un material de pureza, tamaño, concentración y forma controlados que amplifica al rayo mediante el proceso de emisión estimulada y que puede estar en cualquier estado: gaseoso, líquido, sólido o plasma. Así, el medio de ganancia absorbe la energía bombeada, lo cual aumenta algunos electrones hacia estados cuánticos energéticos más altos (excitados)^(54,55); en otras palabras, el láser es un dispositivo electrónico que amplifica un haz de luz de extraordinaria intensidad y se basa en el fenómeno de emisión estimulada de radiación, enunciado por Einstein en 1916.⁽⁵⁶⁾

Para explicar el funcionamiento del láser, es necesario indicar que el átomo está integrado por un núcleo, formado por un conjunto de protones, neutrones y una serie de electrones emplazados a determinada distancia, alrededor del núcleo; los electrones, cuya energía depende de su distancia al núcleo, pueden encontrarse en estado excitado, con una energía superior a la normal o en reposo. En el estado excitado, el electrón almacena una determinada proporción de energía y, en virtud del llamado proceso de absorción, cuando un fotón choca con un electrón no excitado, puede hacer que pase al estado de excitación. Este fenómeno es conocido como emisión espontánea, pero un electrón puede ser inducido a liberar su energía almacenada y, si un fotón pasa al lado de un electrón excitado, éste retorna al estado no excitado a través de la emisión de un fotón de luz igual al que pasó junto a él inicialmente: este proceso se conoce como emisión estimulada y constituye el fundamento del láser^(54,55,56), cuya luz tiene características específicas, que se describen seguidamente:

1.- Monocromática: Los fotones que la forman tienen la misma energía y pertenecen a una misma longitud de onda y mismo color, es decir, tienen una ubicación específica dentro del espectro electromagnético.

2.- Coherente: Todas las ondas que conforman el haz láser están en cierta fase relacionadas una con otra, tanto en tiempo como en espacio; esto se debe a que cada fotón está en fase con el fotón entrante.

3.- Colimada (direccionabilidad): El haz de luz recorre una sola dirección, ya que todas las ondas emitidas están casi paralelas y por tanto no hay divergencia del mismo, por lo que permanece invariable aún después de largos recorridos.^(2,56)

En la actualidad, las aplicaciones del láser son múltiples; dado que un haz de rayos láser origina una línea recta de luz que es posible utilizar, entre otros usos generales, para medir distancias, en impresoras, grabación de imágenes en tres dimensiones, lectura de discos compactos, fabricación de circuitos, lectura de códigos de barra y transmisión de señales. En el ámbito de la medicina, los bisturís cauterizantes recurren también a la tecnología del láser, lo que permite realizar cortes muy finos de gran precisión y evitar cualquier riesgo de contagio, siendo uno de los recursos predilectos de la cirugía no invasiva; asimismo, el láser cauteriza de manera inmediata, alejando el peligro de hemorragias y ha tenido también gran aceptación en el campo de la medicina estética, como forma de depilación definitiva y en el tratamiento del acné, así como en Odontología.^(55,57,58)

Sin embargo, pese a las notables ventajas del láser en todos los ámbitos del quehacer humano, su uso ha sido sometido a parámetros de seguridad, de allí que en el ámbito médico-odontológico se recomienda un protocolo de dosificación de acuerdo al uso clínico, según la profundidad del tejido u órgano a tratar: a) Superficiales: hasta 5mm; b) Profundidad media: 5 a 20 mm y c) Profundas: más de 20mm. Asimismo, lo cual se considera una serie de medidas de protección, a saber:

1- Gafas de protección, obligatorias para el paciente y el terapeuta; deben ser adecuadas a cada tipo de láser según su longitud de onda y no son intercambiables entre los distintos tipos de láser, lo cual es importante cuando se cuenta con diferentes unidades de emisión.

2. Buena iluminación natural y artificial del espacio para mantener las pupilas contraídas, ya que de esta forma se disminuye el efecto de una irradiación accidental.

3- Ni el paciente ni el tratante pueden llevar joyas.

4- La piel a exponer se desgrasará previamente con alcohol, dejándolo evaporar y alejando el frasco de la zona de aplicación para evitar explosiones.

5- Iniciar la emisión del láser hasta que el irradiador esté situado en el punto de tratamiento y casi en contacto con el paciente. Si se trata de varios puntos, hay que interrumpir la emisión con el gatillo o pulsador durante los desplazamientos y comprobar que el piloto de emisión está apagado.

6- Máxima concentración del tratante, pues existe el peligro de cambiar la orientación del aplicador por distracción o descuido, y se llegue a reflejar el haz a los ojos, propios y/o del paciente. ^(56,58)

En este orden de ideas, la interacción de los láser de alta potencia con los tejidos, constituye un proceso complejo que comienza con un incremento de la temperatura en la zona de interacción, lo que origina la desnaturalización del microorganismo en función del aumento de la temperatura inherente al proceso de irradiación, aunque algunos investigadores^(59,60,61,62), recomiendan estar pendiente no exceder el umbral de 7° C para evitar alteraciones en la morfología del tejido dentinario radicular, que pueden ocasionar daños irreversibles en los tejidos adyacentes.

De igual forma, las interacciones del láser sobre el tejido no son excluyentes, pues ocurren comúnmente en proporciones variables, lo cual se atribuye a las variaciones químicas y moleculares encontradas en los distintos sistemas biológicos y tejidos; en la mayor parte de

los casos la extensión de la interacción es directamente proporcional al nivel de absorción por el tejido de las distintas longitudes de onda. El complejo sistema biológico, se compone de una gran variedad de elementos celulares y fluidos tisulares, cada uno con distintas características de absorción óptica y por ello, la respuesta particular que puede manifestar un tejido después de interaccionar sobre él la luz del láser, no depende sólo de la longitud de onda de la misma, sino también de otras variables o parámetros, como la densidad de potencia y el tiempo de exposición. Secundariamente, también la respuesta del tejido sometido a una dosis determinada va a depender de si la radiación láser es aplicada de forma continua o a intervalos determinados. Generalmente, las emisiones de láser de baja potencia y larga duración son menos destructivas e inducen sus efectos a nivel celular y molecular, dando lugar a procesos fotoquímicos o bioestimulantes. ^(56, 58,63)

Por otro lado, el diámetro del haz de láser afecta a la densidad de energía en la superficie tisular: cuanto menor sea el haz, mayor es la densidad de energía. De allí, que la consecuencia de utilizar una fibra menor es que produce una transferencia térmica muy superior desde el láser al tejido y un aumento correspondiente de la absorción de calor en un área menor. Igualmente, el tiempo durante el cual el haz barre el tejido diana influye en la velocidad de aumento de la temperatura tisular, el cual puede regularse mediante la frecuencia de repetición del modo de emisión del láser pulsado. Igualmente, la incorporación de una unidad de enfriamiento del tejido, mediante el uso de un pulverizador de agua, aire o de una sonda de aspiración de alta potencia sobre el tejido, también condiciona la velocidad de vaporización. ^(56,58)

Además, existen propiedades específicas de los tejidos que deben considerarse; aquellos que presentan un alto coeficiente de absorción para una longitud de onda en particular se denominan *Cromóforos*. De hecho, todos los tejidos presentan propiedades de absorción específicas que determinan el comportamiento de los mismos ante la acción de la radiación láser. Asimismo, la interacción del láser sobre el tejido como una forma de energía radiante, generalmente se determina por dos variables dependientes: longitud de onda específica de la emisión del láser y características ópticas del tejido diana; por tanto, deben ser considerados de forma independiente aquellos factores que pueden ser controlados por el clínico, que incluyen nivel de aplicación de potencia (densidad de potencia), total de energía aplicada

sobre un área determinada (densidad de energía), velocidad y duración de la exposición (velocidad de repetición del pulso y duración de éste), y modo de aplicación de la energía sobre el tejido diana (continuo, pulsado; contacto o sin contacto) para obtener los efectos deseados sobre el tejido tratado.^(56,57,58)

De acuerdo a lo descrito, el clínico que opera un dispositivo láser debe estar totalmente cualificado para hacerlo, ya que como se ha definido su uso imprudente o con desconocimiento de sus características en lugar de lograr el objetivo primario, es decir, sanar un órgano o tejido, pueden generar daños tisulares que podrían resultar irreversibles.^(56,58)

En cuanto a las contraindicaciones del láser en disciplinas sanitarias, existe disparidad de criterios; mientras por un lado se dice que no están claramente establecidas ni definidas y que en todo caso, el mayor peligro se halla en la exposición directa o reflejada por espejos u objetos reflectantes⁽⁵⁶⁾, se han establecido delimitaciones precisas o circunstancias en las que su empleo no está indicado, tales como tumores (por su efecto estimulante del crecimiento tisular), así como en pacientes con trombosis venosa, flebitis, arteriopatías, epilepsia, mastopatía fibroquística y uso de fármacos fotosensibilizantes, como Tetraciclinas.^(56,58,63)

En fin, existen varios tipos de láser ideados para aplicaciones clínicas y odontológicas: terapéuticos, como el Helio-Neón, infrarrojo y epi-light; quirúrgicos los de rubí, Argón, CO², Neodimio-Yag, Holmium-Yag y lasik, los cuales se diferencian por la longitud de onda que generan y por su capacidad para producir diferentes efectos sobre los tejidos según su afinidad por agua, hidroxapatita, pigmentos o cromóforos, razón por la cual cada equipo tiene una acción específica sobre cada tejido del organismo^(2,58) y, naturalmente son diferentes a los empleados en Endodoncia, como se detalla a continuación.

Láser en Endodoncia

En la comunidad científica odontológica, se reconoce que el alto índice de éxito alcanzado en la Endodoncia es atribuido, principalmente, al avance de las técnicas y recursos operativos, terapéuticos y tecnológicos que buscan alcanzar el adecuado control microbiano del sistema endodóntico; sin embargo, algunos factores dificultan la limpieza y desinfección,

llevando a la permanencia de microorganismos y, consecuentemente, a la mantención de la infección endodóntica. En estos casos, se indican nuevas intervenciones con la finalidad de extender la reducción microbiana a las áreas contaminadas, ofreciendo condiciones efectivas para el establecimiento de la reparación deseada, escenario en el cual el láser tiene un protagonismo cada vez más destacado ^(2,64). En tal contexto, es preciso indicar que la experiencia acumulada durante las últimas décadas ha permitido el desarrollo de equipos y tecnología láser especialmente diseñados para el abordaje endodóntico, los cuales se detallan seguidamente.

Láser Nd:YAG

El Neomidio Ytrio Aluminio Granate ($\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) o Nd.YAG, es un cristal que se usa como medio de laseado o de ganancia para el láser de estado sólido; el dopante neomidio triple ionizado, típicamente reemplaza al itrio en la estructura cristalina del itrio aluminio granate (YAG), ya que son de tamaño similar: generalmente, el huésped cristalino está dopado con cerca del 1% de neomidio por porcentaje atómico. ^(1,2)

El láser Nd:YAG emite luz con una longitud de onda de 1,064 nanómetros (nm) en el infrarrojo (invisible); opera tanto en modo pulsátil o continuo y trabaja típicamente en el modo de Q-switching, es decir, se inserta un switch óptico en la cavidad láser esperando por una máxima inversión de población en los iones neomidio antes de que se abran. Luego, la onda de luz puede correr a través de la cavidad, despoblando al medio láser excitado en máxima inversión de población. Destacando que su longitud de onda no es absorbida por el agua. ^(1,2)

Además, por transmitirse a través de una fibra óptica, el láser Nd:YAG ofrece una precisión tal que permite al operador evitar la destrucción de tejido sano durante su aplicación, provocando hemostasia y esterilizando el área irradiada, lo que reduce el riesgo de infecciones pues destruye bacterias y esporas. Así, facilita procedimientos limpios y seguros, que además abren las puertas para tratamientos dentales a millones de personas que por miedo al dolor no acuden a la consulta odontológica: de los tratamientos con este láser, 90% se efectúa sin anestesia y sin dolor, lo cual cambia la imagen y el concepto de los tratamientos dentales. La longitud de onda de 1,064 nm producida por el Nd:YAG no tiene afinidad específica por los

tejidos, pero sí por las pigmentaciones oscuras y por la sangre, lo cual le confiere una mayor penetración que los láser con afinidad por el agua. ^(1,64)

Se ha establecido, que una de las precauciones con el uso de este láser en endodoncia es no exceder la temperatura de 7° C, la cual es nociva para los tejidos periodontales y además presenta el riesgo de calcinamiento y derretimiento de la estructura anatómica de la superficie dentinaria del conducto radicular; asimismo, cuando se usa el láser Nd:YAG hay que tomar en cuenta tres parámetros importantes: el primero de ellos es la dosis de irradiación, que debe conducir a la eliminación de las bacterias blanco; el segundo es la manera en que se aplica la dosis de irradiación, bien sea en modo pulsátil o continuo. El tercero, es la acumulación del calor inducido por el láser, que es conducido por el volumen del tejido dentario: ésta es la razón por la cual no debe excederse la temperatura límite de 7° C cuando se usa el láser Nd:YAG. ^(61,62,65)

Láser Er:YAG

Este láser, es de estado sólido y su medio de laseado es el Erblio Ytrio Aluminio Granate, (Er:Y₃Al₅O₁₂); emite luz en una longitud de onda de 2,940 nm, la cual está en el espectro infrarrojo y, a diferencia del Nd:YAG, su frecuencia es fuertemente absorbida por el agua y la hidroxiapatita debido a las resonancias atómicas, lo cual limita su uso en aplicaciones donde el agua esté presente. ^(1,2)

De tal forma, gracias a unas finas terminales compuestas por prismas especiales, el rayo del Er:YAG puede llevarse al interior de los conductos ya instrumentados y, además posee tres diámetros distintos que facilitan la tarea, según sean las dimensiones del conducto. Por otro lado, la incidencia del haz de luz sobre las paredes del conducto es forzosamente tangencial o muy oblicua y, por tanto, prácticamente perpendicular a la dirección de los túbulos dentinarios, por lo cual su irradiación puede resultar sumamente útil para eliminar el barro dentinario y los gérmenes que han resistido la irrigación química, si bien la desinfección del conducto, aunque llamativa, es superficial. ^(64,66)

Láser Er,Cr:YSGG

Láser de estado sólido, el Erblio Cromo Ytrio Escandio Galio Granate, es de alta potencia; su cavidad de resonancia posee un cristal de tipo “granate” (cristal rombodecaedro, G) que está compuesto por itrio (Yttrium, Y), escandio (Scandium, S) y galio (Gallium, G) contaminado con erbio (Erbium, Er) y cromo (Chromium, Cr), el cual emite en modo pulsado con una longitud de onda de 2,780 nm en el infrarrojo del espectro electromagnético. ^(1,2)

En el campo de la Endodoncia, el Er,Cr:YSGG ha sido utilizado exitosamente por su efecto bactericida y la eliminación del barro dentinario; las nuevas fibras diseñadas tienen una terminación de forma cónica, con la cual se ha podido demostrar que la energía lumínica no sólo se emite en dirección recta hacia la zona del ápice sino también en lateral, hacia los túbulos dentinarios que desembocan en el conducto radicular, por lo cual se logra un apropiado número de conductos dentinarios y un mayor efecto bactericida. ^(64,66) Asimismo, este láser presenta como virtud la de producir un mínimo efecto térmico residual. ⁽⁶⁶⁾

Láser Diodo

Teniendo como medio activo un semiconductor unión P-N hecho de cristal Galio Arsénico con Aluminio galio Arsénico (GaAlAs), el Diodo láser emite luz por el principio de emisión estimulada, la cual surge cuando un fotón induce a un electrón que se encuentra en un estado excitado a pasar al estado de reposo, proceso que está acompañado con la emisión de un fotón, con la misma frecuencia y fase del fotón estimulante. ^(1,2)

Es importante señalar, que existen dos tipos de Diodo láser: a) Los de baja potencia, también llamados láseres blandos (Low Level Laser Therapy); con una longitud de onda comprendida entre 600 y 685 nm, y es en esta configuración como es utilizado en la terapia fotodinámica (TFD); b) Los de alta potencia, llamados “duros”, con una longitud de onda comprendida entre 800nm y 980nm, en el infrarrojo; sin embargo, tiene en su contra que el de alta potencia puede generar daño térmico sobre el periodonto o la dentina. ^(1,63)

El uso del diodo láser a baja potencia se encuentra o emite luz roja (visible) del espectro electromagnético en la terapia fotodinámica (que asocia una fuente luminosa a un colorante (fotosensibilizador) para la reducción microbiana) han ganado cada vez más espacio dentro de la especialidad en Endodoncia, ya que ha venido siendo investigada para el tratamiento de enfermedades infecciosas. Debido a que la gran mayoría de microorganismos orales no absorbe la luz visible de los láser de baja potencia, es necesaria la utilización de un colorante que se fije a ellos, siendo de fácil tránsito por la membrana celular tanto de bacterias Gram-positivas como de Gram-negativas como el azul de metileno, azul de toluidina, verde de malaquita, entre otros, que actúa como agente fotosensibilizador atrayendo la luz del láser. Cuando el fotosensibilizador es irradiado con una luz de longitud de onda adecuada, la molécula es excitada produciendo una serie de transferencias de energía molecular. Todo esto lleva a la liberación de radicales libres y/o oxígeno singlete, una especie altamente reactiva y citotóxica, lo que resulta en muerte celular. ^(37, 63,64)

Por todo lo expuesto, se decide explorar en este campo, extrayendo de varias investigaciones efectuadas en los últimos años, la efectividad del láser en endodoncia, y en este sentido, se efectúa este trabajo monográfico, el cual se ajusta a la tipología de estudio documental, que reúne, integra, analiza y explica los elementos y relaciones de un fenómeno sobre la base de evidencias documentales ⁽⁶⁷⁾; de igual forma, se ajusta al diseño descriptivo, el cual comprende la descripción, registro, análisis y/o interpretación de la naturaleza, composición o procesos de los fenómenos, es decir, trabajar sobre realidades o hechos. ⁽⁶⁸⁾

Para la selección de los documentos en los estudios de revisión, deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros: a) Autenticidad: material impreso y/o electrónico con la autoría del mismo, registro (ubicación, fecha de publicación, edición y código del index ISSN – ISBN de ser necesario de acuerdo a la norma que rige el estudio); b) Representatividad: disponibilidad de la documentación en bibliotecas universitarias y/o digitales, bases de datos calificadas; c) Credibilidad: Se consideran documentos soportados por instituciones de índole diversa, privilegiando aquellas de educación superior cuyas líneas de investigación son afines al tema del estudio, así como producciones elaboradas por sociedades científicas y revistas indizadas. ⁽⁶⁹⁾

De acuerdo a las especificaciones previas, se estima necesario indicar que para la recolección de la información necesaria para la sustentación del problema de estudio, antecedentes y bases teóricas, se visitó la Biblioteca de la Facultad de Odontología de la Universidad de Carabobo a objeto de revisar libros de texto y trabajos de grado vinculados con la temática a desarrollar, así como la Biblioteca Virtual de dicha universidad y de otras internacionales, mundialmente reconocidas por su prestigio. Asimismo, a fin de recopilar la información necesaria para desarrollar los objetivos de estudio, se visitó el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas para la pesquisa de literatura impresa especializada, vale decir, revistas indizadas que complementaron aquella propiedad de la investigadora y las otorgadas en calidad de préstamo por profesionales de la Endodoncia, y dicha búsqueda, fue complementada con la consulta realizada en bases de datos electrónicos reconocidos, tales como MedLine, PubMed, MedScape, BBO, OVID, Springer, MDCOnsult, Scielo, LantInDex y ProQuest, a fin de seleccionar publicaciones de interés en torno al uso del láser en Endodoncia como medio alternativo en la desinfección del sistema de conductos radiculares.

Igualmente, conviene señalar que toda esa recopilación fue sometida a lectura crítica, a fin de decidir cuáles publicaciones se incluirían definitivamente, partiendo de la premisa según la cual debido a que la práctica basada en la investigación depende de los hallazgos de estudios publicados, cada uno de ellos debe ser evaluado críticamente no sólo para determinar su mérito científico (validez) sino también su importancia, novedad y utilidad, de acuerdo a los propósitos planteados.

Aspectos Éticos

El presente estudio, por ser de carácter estrictamente documental, no incluyó ningún tipo de contacto y/o experimentación con especímenes humanos ni sus partes, por lo cual no se requirió permiso al Comité de Bioética de la Investigación de la Facultad de Odontología de la Universidad de Carabobo.

DISCUSIÓN

De acuerdo a los objetivos trazados, en este trabajo documental, se procede a revisar parte de la literatura publicada obtenida sobre el tema de la utilidad de los láser con relación a la desinfección del SCR, en lo relativo a su eficacia, solos o alternándolos con otros antisépticos y desinfectantes de conductos, así como también a las condiciones ideales de su uso, sin olvidar los aspectos inherentes a la seguridad y respeto hacia la integridad de los tejidos que son sometidos a sus efectos.

Con relación al Nd:YAG, un láser de alta potencia que opera a una longitud de onda de 1,064 nm, que es pobremente absorbida por el agua y la matriz orgánica de la dentina, lo que conlleva a la concentración de su energía en la superficie del tejido dentinario, con aumentos de temperatura que pueden resultar excesivo, ocasionando derretimiento y fusión de ese tejido, y para evitar estos problemas se deben usar a un máximo de potencia de 1,5 W , según recomendado como potencia segura in vivo, la cual no debe exceder los 7°C a nivel de las paredes dentinarias, según lo afirmado por (Bergmans y asociados, 2006⁽⁶⁵⁾ y Meire y asociados, 2009⁽²³⁾) pero a esta potencia, este tiene el inconveniente de su pobre poder de penetración en los túbulos dentinarios por lo cual sobreviven muchas especies bacterianas.

Como lo demuestra el trabajo llevado a cabo por Esteves y colaboradores en el año 2010⁽²¹⁾, pero aún con este inconveniente al ser usado a esta longitud de onda, Vielma et al. en el 2012⁽¹⁷⁾ y Parés en una investigación efectuada en el 2009⁽²²⁾, concluyeron que este es el láser más utilizado en la desinfección del SCR. Esta última autora opina que este láser tiene varias aplicaciones en el campo de la endodoncia al afirmar el buen efecto bactericida de esta fuente lumínica en los conductos radiculares, sin embargo Meire y cols, en el 2009⁽²³⁾, afirmó que este láser no es muy efectivo contra *E. faecalis*, cuando se usa a niveles de seguridad (1,5W) recomendado in vivo, en lo que coincide con Franzen y et al.⁽¹⁹⁾, Pirnat⁽¹⁸⁾ y Meire⁽²⁰⁾, todos en el 2011, quienes afirman que el poco poder bactericida contra el *E. faecalis* es debido a su poco poder de penetración a los túbulos dentinarios, y que habría que aumentar la densidad de energía, corriendo el riesgo de alterar la morfología dentinaria, como lo afirma

Esteves y cols, en 2010⁽²¹⁾. En contraste con esto, están los estudios de Atala en el 2008⁽²⁴⁾, Schoop y cols, en el 2006⁽⁷⁰⁾ y Zhang y cols, en el 2008⁽⁷¹⁾, quienes comprobaron que la acción del láser Nd:YAG, potencia la acción del NaOCl, al eliminar la gran mayoría de *E. faecalis* de los conductos, tanto en pulpectomías como en las necrosis pulpares.

Es bien conocido, que la bacteria más utilizada es la *E. faecalis* por ser considerada la responsable de la mayoría de los casos de fracaso endodóntico, así como también, por su resistencia a los desinfectantes e irrigantes más utilizados en el SCR debido a su propiedad de halófilo y a la presencia de su cápsula polisacarídica^(7,8,9), por lo que todas las investigaciones consultadas, incluyen a este coco grampositivo como patrón comparativo, junto a otras bacterias más susceptibles a los diferentes rayos láser, y es así como los trabajos de Pirnat y cols (2011)⁽¹⁸⁾ y Meire y cols (2009)⁽²³⁾, corroboran la resistencia de esta bacteria al láser Nd:YAG, sin embargo Atala (2008)⁽²⁴⁾ lo encontró efectivo contra esta bacteria cuando irradió con este láser los conductos irrigados con NaOCl, resultando de esta manera más efectivo que si utilizamos NaOCl sin el láser Nd:YAG; y en este sentido, el mismo Meire en el 2011⁽²⁰⁾, encontró este láser muy efectivo contra *E. faecalis* utilizándolo a altas densidades de energía, pero con el riesgo de alterar la morfología de la pared dentinaria, como lo afirma Esteves y cols (2010)⁽²¹⁾ quienes verifican que aumentando la potencia se genera altas temperaturas que produce o que lleva al derretimiento y la fusión de la morfología de la pared dentinaria del conducto radicular, y que este efecto puede ser beneficioso al encerrar dentro de los túbulos dentinarios a los microorganismos sobrevivientes que quedan aislados del conducto radicular principal, pero in vivo podría tener efectos colaterales irreversibles sobre el periodonto y el cemento, lo que podría generar dolor post operatorio, inflamación o anquilosis.

Con relación al Er:YAG, es usado a una longitud de onda de 2,940 nm, y a diferencia del Nd:YAG, es bien absorbido por el agua y la matriz orgánica de la dentina, siendo esto lo que produce la vaporación (ablación), que elimina los residuos de dentina contaminada y barro dentinario, abriendo de esta forma los túbulos dentinarios. Conviene acotar que la permeabilidad de la dentina es importante para la penetración de los medicamentos intraconducto en la misma y también para el ingreso de las sustancias de irrigación^(15,44); así, mientras más permeable sea dicho tejido, será posible conseguir su desinfección y en ese orden, sería importante conocer la capacidad que este láser, pudiera tener para aumentar los valores de permeabilidad dentinaria.

En este sentido Noiri et al. (2008)⁽²⁷⁾, examinaron los efectos de este láser sobre biofilms formados por varias entidades microbiológicas tales como *E. faecalis* concluyendo, que este láser puede ser utilizado como supresor y removedor de los biofilms en los tratamientos endodónticos, lo que coincide con el trabajo de Toshie et al. en 2006⁽²⁹⁾ donde también evaluaron la eficacia de este láser sobre el biofilm microbiológico apical en dientes humanos extraídos con lesiones periapicales, encontrando que hubo un buen efecto bactericida sobre los microorganismos contenidos en el biofilm, permitiendo además la vaporización de manera segura de las áreas apicales contaminadas, involucrando solamente a las superficies contaminadas sin alterar a la dentina subyacente.

El estudio publicado por Esteves y asociados en el 2010⁽²¹⁾, evaluó el efecto ex vivo del Er:YAG sobre la morfología de la pared del conducto radicular. Los resultados coinciden con el estudio de Toshie et al.⁽²⁹⁾ y con Di vito y colaboradores, en el 2012⁽²⁵⁾, donde reportan que el Er:YAG logró un buen efecto bactericida, sin causar daños en la morfología de la pared dentinaria, como si lo hace el Nd:YAG, debido a que su longitud de onda es bien absorbida por el agua y la matriz orgánica de la dentina.

De igual forma, el trabajo publicado por Di Vito en el 2012⁽²⁵⁾, evaluó el efecto del Er:YAG sobre la permeabilidad de la pared del conducto radicular en donde arrojaron que presentó valores altos de permeabilidad utilizando un nuevo diseño de punta de fibra óptica de tipo radial que permite una distribución amplia de la energía y con alta difusión de 360° a diferencia del estudio de Helvacioğlu y colaboradores, en el 2008⁽²⁸⁾, donde contradicen dicha afirmación ya que sus resultados arrojaron que tanto este láser, como el Nd:YAG, fueron inefectivos en remover el barro dentinario. Es probable que haya sido por el diseño de la punta de la fibra óptica que sólo permitía la emisión del rayo en sentido vertical y la energía se concentra en un solo punto que no permite la distribución amplia de esa energía sino que es limitada, es posiblemente esta la razón por la cual no lograron resultados positivos a favor del Er:YAG. Según este investigador, el Nd:YAG causó daños térmico en la dentina, lo que coincide con las observaciones de Esteves y colaboradores (2010)⁽²¹⁾.

Los resultados arrojados por Peters et al. en 2011⁽²⁶⁾, sugieren que el láser Er:YAG empleado con el procedimiento conocido como Prolongación Fotoacústica Iniciada por Fotones (PFIF), podría ser una herramienta complementaria a fin de mejorar el rendimiento de

la acción bactericida de los agentes químicos sobre *E. faecalis* u otras colonias patógenas en el SCR. Sin embargo, los resultados obtenidos por Di Vito et al. en el año 2012⁽²⁵⁾ y con Estéves en su estudio del 2010⁽²¹⁾, coincide con esta hipótesis, ya que en su estudio⁽²⁶⁾, el uso del láser Er:YAG fue útil como herramienta al permeabilizar los túbulos dentinarios. Hay que destacar que su longitud de onda de 2,940 nm no tuvo efectos térmicos lesivos sobre la superficie dentinaria, lo que si sucede con el láser Nd:YAG, que causa calcinamiento de la superficie dentinaria, como también lo demostró Estéves en su estudio del 2010⁽²¹⁾, lo que deja al láser Er:YAG como una mejor herramienta complementaria que el Nd:YAG en la desinfección del SCR.

Con respecto, al Er,Cr:YSGG, es un láser el cual opera con una longitud de onda de 2,780 nm, y al igual que el láser Er:YAG es bien absorbido por el agua y la matriz orgánica de la dentina, y también ha sido ampliamente analizado y estudiado en cuanto a su capacidad como medio de desinfección alternativa al NaOCl, y en este sentido, Franzen et al., en el año 2009⁽³¹⁾, compararon estos dos láser sobre el *E. faecalis*, reportando que el Er,Cr:YSGG resultó mejor bactericida que el Er:YAG, evidenciando que sus longitudes de onda (2,780 nm y 2,940 nm, respectivamente) son bien absorbidos por el agua y la matriz orgánica de la dentina al no causar daños en la morfología de la pared dentinaria, mostrando efectiva remoción de barro dentinario y permeabilidad de los túbulos dentinarios, lo que coincide con el estudio de Schoop y colaboradores, en el mismo año⁽³²⁾, ya que estos investigadores estudiaron el efecto bactericida y quelante de este láser sobre cepas de *E. coli* y *E. faecalis*, utilizando también puntas de emisión radial, observando reducción efectiva de estos microorganismos, con buena permeabilidad dentinaria y sin alteración en su morfología.

El estudio realizado por Dewsnup y asociados, en 2010⁽³⁰⁾, quienes también lo utilizaron con punta de emisión radial para evaluar la reducción bacteriana del *E. faecalis* en conductos rectos y curvos, comparándolo con NaOCl al 6,15% combinado con RC-Prep®, arrojando como resultado que la efectividad desinfectante y quelante de este láser fue igual a la obtenida mediante los agentes químicos; de acuerdo con esta evidencia los autores sugieren un uso alternativo del láser Er:CrYSGG, a la desinfección química convencional; pero tiene el inconveniente que los conductos curvos limitan su acción. Este hecho ubica al láser Er,Cr:YSGG como alternativa, no solo por el hecho que lo igualó a los agentes químicos, sino que también hay que tomar en cuenta que se debe considerar el uso secuencial de solventes

orgánicos e inorgánicos en el protocolo de irrigación ya que no existe una solución irrigadora que tenga la habilidad dual de disolver el tejido orgánico y a la vez desmineralizar la capa de desecho dentinario⁽⁴⁶⁾, y en relación a lo mencionado, este estudio indica que el láser Er,Cr:YSGG cumplió con este protocolo de desinfección química. Pero desafortunadamente, tales resultados ex vivo no pueden extrapolarse a los procedimientos clínicos, debido al diseño del estudio.

En contradicción al estudio citado en el párrafo anterior, se ubica Altundasar E. y colaboradores en el 2006⁽³⁴⁾, quienes utilizaron el Er,Cr:YSGG con una punta de fibra óptica de emisión vertical para evaluar los cambios ultramorfológicos e histoquímicos sobre la dentina radicular, comparándolo con NaOCl al 5,25% solo o combinado con RC-Prep®, evidenciando en este caso que no hubo una remoción efectiva del barro dentinario, a diferencia a la obtenida con la desinfección química que si fue efectiva, lo que coincide con la investigación realizada por Eldeniz y asociados en el 2007⁽³³⁾, quienes compararon la eficacia bactericida del NaOCl al 5,25% y la irradiación del láser Er,Cr:YSGG en conductos radiculares contaminados con *E. faecalis*, donde tampoco mostró efectividad al compararlo con el NaOCl. Hay que destacar, que el diseño de punta de emisión vertical usada en los últimos dos estudios citados^(34,33), impide su posible acción quelante y bactericida, a diferencia cuando se utiliza un nuevo diseño de punta radial como los utilizados en los estudios de Franzen⁽³¹⁾ y Schoop⁽³²⁾ en el 2009 y Dewsnup en el 2010⁽³⁰⁾, que permite una distribución amplia y con alta difusión de la luz en 360°.

Hasta ahora, la tecnología y el conocimiento del presente estudio de revisión documental bibliográfica retrospectiva, no ofrece evidencia conclusiva que permitan sugerir que el láser Er,Cr:YSGG sea una alternativa efectiva a la desinfección química convencional, aunque si muestran evidencias de que posee buenas propiedades como bactericida y en especial eficazmente contra el *E. faecalis*, mostrándose superior al láser Nd:YAG y Er:YAG.

En cuanto, al Diodo láser, uno de los más investigados como posible alternativa para la desinfección del SCR debido a su efecto bactericida, ya que puede ser utilizado como láser de alta potencia cuando su longitud de onda es de 800 a 980 nm, o como láser de baja potencia cuando se usa de 600 a 685 nm y es en esta última configuración como es utilizado en la terapia fotodinámica (TFD), que en materia de láser y sus efectos bactericidas, es la

activación de estas luces sobre sustancias o colorantes fotosensibilizadoras, que parece potenciar el efecto del láser diodo sobre las especies bacterianas más estudiadas, pero sobre todo, sobre el *E. faecalis*. En efecto, es este láser quien más se ha usado como fotoactivador de colorantes como el azul de metileno o el azul de toluidina o cloruro de tónico entre otros. Como es sabido desde el siglo XIX, se han utilizado los colorantes, especialmente el azul de metileno, como sustancias bactericidas o bacteriostáticas en el control del crecimiento bacteriano ya que éstos provocan alteraciones en los grupos activos de las proteínas citoplasmáticas bacterianas, (O. Carmona, y asociados, 1997⁽⁷²⁾), por lo que varios investigadores probaron estas sustancias, en combinación con el diodo láser para potenciar su efecto bactericida. En la literatura de los últimos años se ha investigado mucho acerca de la TFD asistida por Diodo láser, haciendo énfasis en los efectos antibacterianos que pueda tener.

En ese orden de ideas el estudio de Silva y colaboradores en el año 2011⁽³⁷⁾, encontró que la Terapia Fotodinámica (TFD) es una alternativa eficaz para la eliminación de *E. faecalis*, microorganismo persistente en los casos de fracaso del tratamiento endodóntico, lo que coincide con George S. y colaboradores en el año 2008⁽³⁹⁾, quienes evaluaron la influencia del solvente fotosensibilizador en la eliminación del *E. faecalis* usando la TFD, reportando que ésta destruyó la integridad funcional de la pared celular, el ADN y las proteínas de membrana del *E. faecalis*. En cuanto a la capacidad de la TFD en contraste a los irrigantes químicos para la desinfección del sistema de conductos radiculares, se encuentra el estudio de Lim y colaboradores en el año 2009⁽³⁸⁾, quienes evaluaron el efecto bactericida de la TFD sobre modelos de biofilms maduros e inmaduros conteniendo *E. faecalis*, reportando que el grupo que se trató con NaOCl más TFD logró casi el 100% de efectividad bactericida contra los biofilms. No obstante lo anteriormente expresado, se estima preciso anotar que la efectividad preliminar para combatir a las bacterias intraconducto no es igual cuando éstas se encuentran en suspensión planctónica que cuando se organizan como un biofilm bacteriano. En relación a este estudio, es importante la etapa de maduración del biofilm para los efectos de su eliminación con estrategias desinfectantes, pues en una comunidad multicelular microbiana las células coordinan sus actividades para el beneficio general del grupo^(6,7).

Sin duda, que este láser estimula a los colorantes como el azul de metileno o el azul de toluidina, en la llamada terapia fotosensibilizante o TFD, al hacerlos penetrar al interior de los microorganismos con más efectividad que cuando lo hacen por sí solos, con lo que se logra

una efectiva acción bactericida sobre un coco bastante resistente a la mayoría de los agentes antibacterianos, incluido el hipoclorito de sodio, aún a concentraciones de 5,25%, como lo es el *E. faecalis*, lo que explica el éxito de esta combinación sobre estas bacterias, aunque estén ubicadas en el interior de los conductillos dentinarios.

Con el objeto de estudiar el comportamiento del Diodo láser operando en alta potencia, una investigación realizada Beer y asociados (2012)⁽³⁵⁾, evaluaron in vitro las longitudes de onda de 810 nm y 940 nm, para la eliminación de *E. coli* y *E. faecalis*, reportando que el efecto bactericida de estas longitudes de onda, no es del todo preciso sobre el *E. faecalis* en particular, lo que coincide con el trabajo de Castelo P. (2012)⁽³⁶⁾, quienes mostraron que el uso de este láser solo, no es tan efectivo que cuando se usa combinado con el NaOCl, por lo que la eficacia bactericida se ve potenciada cuando se combina el láser con la terapia convencional, tratándose esta de una técnica segura; y en contraste a estos resultados se encuentra el estudio de Pineda et al. en el año 2008⁽⁴⁰⁾, donde compararon la eficacia desinfectante de este láser y el NaOCl al 5,25% en la erradicación del *E. faecalis* a 1µm de profundidad de la dentina, reportando, que la diferencia al comparar los dos grupos no fue estadísticamente significativa. Los hallazgos en este último estudio, sugieren que el Diodo láser de alta potencia mostró capacidad similar a la del NaOCl para la desinfección del SCR; no obstante, ello no podría considerarse concluyente pues dicha investigación fue realizada ex vivo.

CONCLUSIONES

De la lectura y análisis de la bibliografía disponible consultada acerca de la utilidad de cuatro tipos de láser utilizados en Endodoncia, con el fin de eliminar, o al menos minimizar la microbiota presente en los conductos radiculares, sin causar daño a la dentina subyacente, se deben resaltar varios aspectos como por ejemplo que la mayoría de los estudios consultados experimentan los diferentes tipos de láser solos o los comparan con distintas concentraciones de NaOCl es decir, con irrigación convencional o combinan ambos procedimientos, en un intento de dilucidar si el rayo potencia la acción del NaOCl algo así como una sinergia bactericida, experimento que también se ha hecho con colorantes, que son reconocidos como bactericidas o como bacteriostáticos en la llamada Terapia Fotodinámica. Adicionalmente también existen varios estudios que resaltan la acción de los distintos láser sobre la dentina para conocer sus posibles efectos adversos como en la morfología de la pared dentinaria, o positivos como la permeabilización de los conductillos o eliminación del barro dentinario o del mismo biofilm, y para ello utilizan el rayo solo o lo combinan con EDTA o RC-Prep®. De acuerdo a esto podemos concluir lo siguiente:

- 1- El Nd:YAD, el cual es muy utilizado en odontología operatoria y en cirugía, en endodoncia no sucede así porque su longitud de onda es pobremente absorbida por el agua y la matriz orgánica de la dentina, y pese a esto, algunas investigaciones destacan que potencia la acción bactericida del NaOCl.
- 2- En relación al láser Er:YAG al igual que el Er,Cr:YSGG, cuyas longitudes de onda son bien absorbida por la matriz orgánica y el agua contenida en la estructura dentinaria, logrando la vaporización, favoreciendo la permeabilidad de los túbulos dentinarios, lo cual permite la penetración de los químicos, lo que refuerza la desinfección convencional, sin causar daños en la morfología de la pared dentinaria.

- 3- Algunas investigaciones concluyen que el Er,Cr:YSGG es muy buen bactericida, ya que penetra más profundamente en los conductillos dentinarios, en tanto que en otra se resaltó que su efecto bactericida y quelante igualó al NaOCl y al EDTA, y en este sentido, este láser supera al Er:YAG.
- 4- Con relación al Diodo láser, se usa en endodoncia en 2 configuraciones: a alta potencia, donde se utiliza solo, o en baja potencia que es el empleado en la TFD, potenciando la acción bactericida de los colorantes utilizados.
- 5- El Diodo láser con TFD fue eficiente en la eliminación del *E. faecalis* e inclusive, abre una posible forma de eliminar los biofilms, aunque sin lugar a dudas requiere de más investigaciones, por lo que no puede considerarse aún como sustituto a la terapia endodóntica convencional. No obstante, podría afirmarse que esta TFD, como adjunto a la desinfección química convencional, posee potencial para superarla.
- 6- El láser Diodo y el láser Er,Cr:YSGG se encuentran como los más eficaces, siguiendo el Er:YAG y Nd:YAG en ese orden.
- 7- Finalmente, se puede expresar que aún no puede considerarse al láser como un recurso sustitutivo a la irrigación convencional, pero sí como un medio alternativo al mismo, aunque su costo resulta elevado.

RECOMENDACIONES

Los láser endodónticos, son dispositivos cuyos efectos globales representan una mejora decisiva en la eficiencia de los tratamientos endodónticos, si bien su mayor reto es la desinfección completa del SCR, y es por ello que, como toda nueva técnica e instrumento que se introduce en la práctica odontológica, se debe profundizar el conocimiento de sus características y los efectos que produce al aplicarlo sobre los diferentes tejidos, lo cual llevará a controlar las aplicaciones específicas para las cuales está indicado dicho instrumento en base a investigaciones orientadas a conocer y optimizar su desempeño.

Finalmente, un aspecto de crucial impacto es el referente al entrenamiento en el adecuado manejo de los láser endodónticos, ya que el éxito a obtener en la terapéutica de dientes con pulpa vital o necrótica sólo se puede conseguir cuando el profesional conoce y domina las técnicas y parámetros correctos para su manejo, a fin de evitar el temido fracaso endodóntico.

REFERENCIAS

- 1.- Natera, J. Láser en Odontología. Oper Dent y End 2004; 4(8): 10-18.
- 2.- Convissar R. Láser en Odontología. Principios y práctica. Madrid: Elsevier; 2011: cap. II.
- 3.- Stern RH, Sognnaes RF. Laser beam effect on dental hard tissues. J Dent Res 2008; 128: 568-592.
- 4.- Martínez H. Odontología Láser. México: Trillas; 2006: cap. III, p. 46.
- 5.- Canalda C. Endodoncia: técnicas clínicas y bases científicas. Barcelona, España: Elsevier; 2006: cap. XVIII, p. 202-215
- 6.- Svensäter G, Bergenholtz G. Biofilms in endodontic infections. Endodontic Topics, 2004, 9:27-36.
- 7.- Ayhan H, Sultan N, Cirak M, Ruhi M, Bodur H. Antimicrobial effects of various endodontic irrigants on selected microorganisms. Int Endod J. 1999;32(2):99-102.
- 8.- Siqueira J. A etiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. Int Endodon J, 2001, 34(1):1-10.
- 9.- Love RM. *Enterococcus faecalis*--a mechanism for its role in endodontic failure. Int Endod J. 2001; 34(5):399-405.
- 10.-Bergenholtz G. Pathogenic mechanisms in pulpal disease. J Endod 1990;16(2):98-101
- 11.- Hülsmann M, Hahn W. Complication during root canal irrigation- literature review and case reports. Int. Endodon. J. 2000; 33:186-93
- 12.- Andreasen J, Farik B. y Munksgaard E. C. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. Dent Traumatol 2002; 18: 134-137.
- 13.- Calt S, Serper A. Smear layer removal by EDTA. J. Endodon. 2000; 26(8):459-61.
- 14.- Cameron J. The synergistic relationship between ultrasound and sodium hypochlorite: A scanning electron microscope evaluation. J Endod 1999; 13(11): 541-545.
- 15.- Hülsmann M. Irrigación del conducto radicular: objetivos, soluciones y técnicas. J. Endodon Pract. Edición en español. 1998; 4(1): 15-29.

16.- Estrela, C. Ciencia Endodóntica. Sao Paulo: Artes Médicas Latinoamericanas; 2005: cap. VIII, p. 221..

17- Vielma E., Garrido M, Yuncosa M. Acta Bioclin ULA 2012; Suplemento B: 3-22.

18- Pirnat S, Lukac M, Ihan A. Study of the direct bactericidal effect of Nd:YAG and diode laser parameters used in endodontics on pigmented and nonpigmented bacteria. [Revista en línea]. Laser Med Sci 2011; 26: 755-761. Descargado de la red el 23 de octubre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20582609>

19- Franzen R, Gutknecht N, Falken S, Heussen N, Meister J. Bactericidal effect of a Nd:YAG laser on *Enterococcus faecalis* at pulse durations of 15 and 25 ms in dentine depths of 500 and 1,000 μm . [Revista en línea]. Laser Med Sci 2011; 26: 95-101. Descargado de la red el 23 de octubre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20809081>

20-Meire M, Coenye T, Nelis HJ, De Moor RJG. In vitro inactivation of Endodontic pathogens with Nd:YAG and Er:YAG lasers. [Revista en línea]. Lasers Med Sci 2011; 27 (4): 695-701. Descargado de la red el 23 de octubre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21691826>

21-Esteves M, De Guglielmi C, Müller K, Arana VE, De Eduardo C. Comparison of dentin root canal permeability and morphology after irradiation with Nd:YAG, Er:YAG, and diode lasers. [Revista en línea]. Laser Med Sci 2010; 25: 755-760. Descargado de la red el 23 de octubre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20422240>

22-Parés A. Aplicación del Láser Nd:YAG en las diferentes disciplinas de la Odontología. Trabajo de Ascenso no publicado; 2009. Bárbula: Universidad de Carabobo.

23- Meire M, De Prijck K, Coenye T, Nelis HJ y De Moor RJG. Effectiveness of different laser systems to kill *Enterococcus faecalis* in aqueous suspension and in an infected tooth model. [Revista en línea]. Int Endod J 2009, 42, 351-359. Descargado de la red el 23 de octubre de 2012 desde: http://journals.ohiolink.edu/ejc/article.cgi?issn=01432885&issue=v42i0004&article=31_eodlstaiaitm.

24- Atala C. Láser Nd:YAG en la desinfección de conductos radiculares en unidades dentarias con necrosis pulpar. Trabajo de Grado no publicado; 2009. Bárbula: Universidad de Carabobo.

25- DiVito E, Peters OA y Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. [Revista en línea]. Lasers Med Sci 2012; 27(2): 273-280. Descargado de la red el 23 de octubre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21120568>

26- Peters OA, Bardsley S, Fong J, Pandher G y DiVito E. Disinfection of root canals with Photon initiated Photoacoustic Streaming. JOE 2011; 37 (7): 1008-1012.

27- Noiri Y, Katsumoto T, Azakami H, Ebisu S. Effects of Er:YAG laser irradiation on biofilm-forming bacteria associated with endodontic pathogens in vitro. J Endod 2008; 34 (7), 826-829.

28- Helvacioğlu Kivanç B, Atasoy Ulusoy Ö. y Görgül G. Effects of Er:YAG laser and Nd:YAG laser treatment on the root canal dentin of human teeth: a SEM study. Laser Med Sci 2008; 23: 247-252. doi 10.1007/s10103-007-0474-6

29-Toshie Â, Ibraki Y, Kawakami T, Lage JL. Er:YAG Laser irradiation of the Microbiological Apical Biofilm. Braz Dent J 2006; 17 (4): 296-299.

30- Dewsnup N, Pileggi R, Haddix J, Nazir U, Walker C. y Herdy VC. Comparison of bacterial reduction in straight and curved canals using erbium, chromium: yttrium scandium-gallium garnet laser treatment versus a traditional irrigation technique with sodium hypochlorite. JOE 2010; 36 (4): 725-728. doi:10.1016/j.joen2009 11.017

31- Franzen R.; Esteves-Oliveira M.; Meister J.; Wallerang A.; Vanweersch L.; Lampert F. et al. Decontamination of deep dentin by means of erbium, chromium: yttrium scandium-gallium-garnet laser irradiation. [Revista en línea]. Lasers Med Sci 2009; 24: 75-80. Descargado de la red el 29 de octubre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18027063>

32- Schoop U, Barylyak A, Goharkhay K, Beer F, Wernisch J, Georgopoulos A. et al. The impact of an erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial-firing tips on endodontic treatment. [Revista en línea]. Lasers Med Sci 2009; 24 (1): 59-65. Descargado de la red el 23 de octubre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18027065>

33- Eldeniz AU, Ozer F, Hadimli HH, Erganis O. Bactericidal efficacies of Er,Cr: YSGG irradiation against *Enterococcus faecalis* compared with NaOCl irrigation: An ex vivo pilot study. Int Endod J 2007; 40: 112–119.

- 34- Altundasar E, Özçelik B, Cehreli ZC y Matsumoto K. Ultramorphological and histochemical changes after Er,Cr:YSGG irradiation and two different irrigation regimes. [Revista en línea]. JOE 2006; 32 (5): 465-468. Descargado de la red el 23 de octubre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16631850>.
- 35- Beer F, Buchmair A, Wernisch J, Georgopoulos A, Moritz A. Comparison of two diode lasers on bactericidity in root canals - an in vitro study. [Revista en línea]. Lasers Med Sci 2012; 27: 361–364. Descargado de la red el 29 de octubre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21287219>
- 36- Castelo P. Nuevos métodos de desinfección y limpieza del sistema de conductos radiculares. [Tesis doctoral en línea]. España: Universidad Santiago de Compostela; 2012. Descargado de la red el 01 de abril de 2013 desde: http://dspace.usc.es/bitstream/10347/6250/1/rep_304.pdf
- 37- Silva EJNL, Coutinho-Filho WP, Andrade AO, Herrera DR, Hirata-Junior R, Coutinho-Filho TS, Krebs RL. Efecto antimicrobiano de la terapia fotodinámica sobre *Enterococcus faecalis*, estudio *in vitro*. Rev Estomatol Herediana. 2011; 21(4):185-189.
- 38- Lim Z.; Cheng JL.; Lim TW.; Teo EG.; Wong J.; George S et al. Light activated disinfection: an alternative endodontic disinfection strategy. [Revista en línea]. Austr Dent J 2009; 54: 108–114. Descargado de la red el 01 de noviembre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19473151>
- 39- George S. y Kishen A. Influence of photosensitizer solvent on the mechanism of photoactivated killing of *Enterococcus faecalis*. Photochem Photobiol. 2008; 84: 734–740
- 40- Pineda E, González A. y Villa P. Comparación *in vitro* de la desinfección del sistema de conductos radiculares con NaOCl al 5.25% y Láser Diodo. Revista CES Odontología 2008; 21 (1): 33-38
- 41- Maisto OA. Endodoncia "Irrigación y desinfección de conductos radiculares" 3a Edición, Edit. Mundi, Buenos Aires, 1975.
- 42- Weine FS. Tratamiento endodoncico. 5ta. Edición, Harcourt Brace . Madrid. 1997.
- 43- Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. J Endodon. 1984; 10:477-83.
- 44- Czonstkowsky M, Wilson EG. Holstein FA. The smear layer in endodontics. Dent Clin North Am. 1990; 34: 13-25.

- 45-Tanomaru F. Inflammatory response to different endodontic irrigating solution. *Int Endod J* 2002; 35(9): 735-739.
- 46-.Sen BH, Wesselink PR, Turkun M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J* 1995; 28:141-8.
- 47-Walton RE, Torabinejad M. *Endodoncia Principios y práctica*. 2da Edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana. México. 1997.
- 48- Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol-1 citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int. Endodon. J.* 2000; 33:46-52.
- 49- Monteiro Bramante C, Viti Betti L. Comparative analysis of curved root canal preparation using nickel-titanium instruments with or without EDTA. *J. Endodon.* 2000; 26(5):278-80.
- 50- Verdellis K, Eliades G, Oviir T, Margelos J. Effect of chelating agents on the molecular composition and extent of decalcification at cervical, middle and apical root dentin locations. *Endod Dent Traumatol.* 1999; 15:164-70.
- 51- Heling I, Chandler NP. Antimicrobial effect of irrigant combinations within dentinal tubules. *Int Endod J* 1998 ; 31:8-14.
- 52-Fardal, O. and Turnbull, R. (1996): A review of the literature on use of chlorhexidine in dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.* 112: 863-9
- 53- Marais JT. Cleaning efficacy of a new root canal irrigation solution: a preliminary evaluation. *International Endod J* 2000; 33: 320-325.
- 54-. Coherent E. E. *Lasers operación, equipo, uso y diseño*. Primera Edición. Editorial Limusa S. A. México D. F. 1985:11-23.
- 55- Walsh, L.J. (2003). The current status of láser applications in dentistry. *Aust. Dent . J.* 48 (3),146-155
- 56- Csele M. *Fundamentals of Light Sources and Lasers*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc; 2004; cap. I, pp. 9-24.
- 57- National Geographic: "The Laser, a splendid light for man's use".1984;163:338-377
- 58- Martínez P, Portero S. *Manual de Medicina Física*. Barcelona, España: Harcourt; 2006: p. 109-113
- 59- Wyman A, Duffy S, Sweetland HL, Sharp F y Rogers K. Preliminary evaluation of a new high power laser. *Lasers Surgical Med* 1992; 12 (5): 506-509.

- 60- Theodoro LH.; Haypek P.; Bachmann L.; Garcia VG.; Sampaio JEC.; Zzell DM et al. Effect of laser irradiation on the root surface: morphological and thermal analysis. *J Periodontol* 2003;74 (6): 838-843
- 61- Pearson GJ y Schuckert KH. The role of lasers in dentistry: present and future. *Dent Update* 2003; 30:70-6.
- 62-Armstrong SR, Jessop JL, Winn E, Tay FR y Pashley DH. Denaturation temperatures of dentin matrices. I. Effect of demineralization and dehydration. *J Endod* 2006; 32: 638–641.
- 63- Fung DT, Ng YF. Therapeutic low energy laser. *Lasers Surg Med* 2002; 31: 91-96.
- 64-Gutknecht N, De Paula C. A Odontología e o Laser. *Atuação do Laser na Especialidade de Odontológica*. São Paulo: Quintessence; 2004: cap. II, p. 52.
- 65-Bergmans L, Moisiadis P, Teughels W, Van Meerbeek B, Quirynen M. y Lambrechts P. Bactericidal effect of Nd:YAG laser irradiation on some endodontic pathogens ex vivo. *Int Endod J* 2006; 39: 547-557. doi: 10.1111/j.1365-2591.2006.01115.x
- 66- Arnabat J, España A. Aplicaciones clínicas de los láser de Er:YAG y Er,Cr:YSGG. [Revista en línea]. *RCOE* 2004; 9(5): 551-562. Descargado de la red el 01 de abril de 2013 desde: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1138_123X2004000500006&ln_g=es. <http://dx.doi.org/10.4321/S1138-123X2004000500006>.
- 67-Orozco C, Labrador M, Palencia A. Metodología. Valencia, Venezuela: OFIMAX; 2002: p. 8.
- 68- Hernández R, Fernández C, Baptista P. Metodología de la Investigación. 12ª edición. México: McGraw-Hill Interamericana; 2009: p. 27.
- 69-Cubillos R. Protocolos de revisión documental. Bogotá: ExLibris; 2008: p. 6.
- 70-Schoop U, Kluger W, Dervisbegovic S, Goharkhay K, Wernisch J, Georgopoulos A, Sperr W, Moritz A. Innovative wavelengths in endodontic treatment. [Revista en línea]. *Lasers Surg Med*. 2006; 38(6):624-30. Descargado de la red el 01 de noviembre de 2012 desde: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16685700>
- 71-Zhang C, Kimura Y, Matsumoto K, Arracima T, Zhou H. Effects of pulsed Nd:YAG láser irradiation on root canal wall dentin with different laser initiators. *J Endod* 2008; 24:352-5.
- 72- Carmona, O.; Gomez, M.J.; Montes Tibaíre; Marcano C. y Mariñ F. *Microbioñgia Médica de Divo*. 5ta Ed. Edit. Mc Graw-Hill. 1997. P. 33

