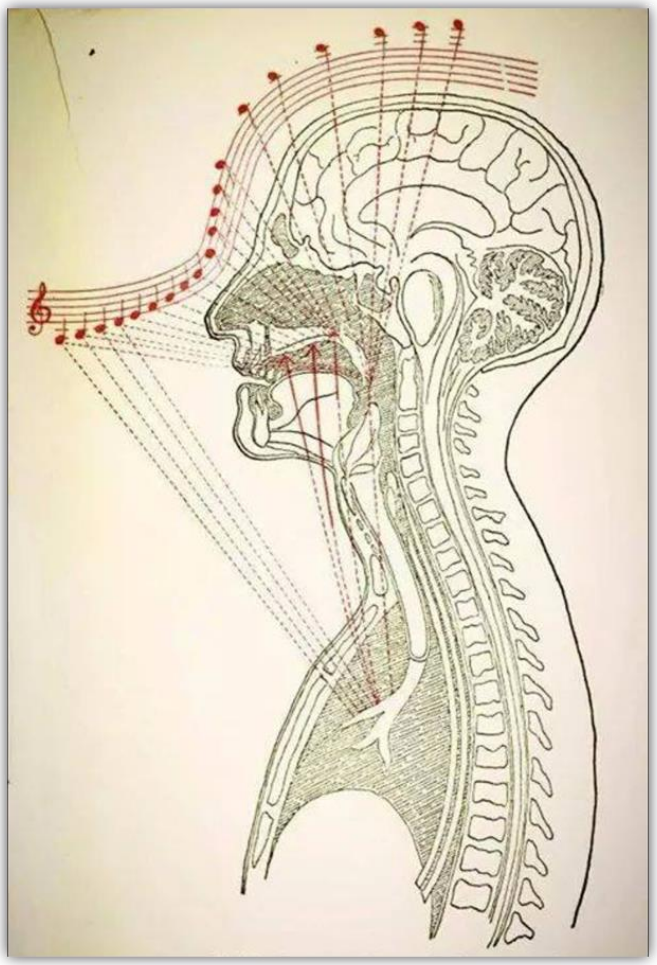
USO DEL LÁSER TERAPÉUTICO EN FATIGA VOCAL DEL CANTANTE.

Estudio de casos y nuevo enfoque en rehabilitación vocal.



Chantal Esteve Royo

chantalesteve@gmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo se ha realizado una investigación sobre el tratamiento de cantantes con fatiga vocal, con una nueva herramienta en rehabilitación vocal –como es el láser terapéutico de baja intensidad–, con el objetivo de observar su efectividad mediante el análisis acústico de unas muestras vocales tomadas antes y después del tratamiento y unas escalas de autopercepción. A través de un estudio experimental de dos grupos, uno experimental (6 cantantes con tratamiento láser) y uno control (6 cantantes sin tratamiento), y con los resultados obtenidos, se tratará de aportar un nuevo enfoque terapéutico, al objeto de ayudar al cantante a mejorar y acelerar su proceso de recuperación.

Palabras clave: cantantes; fatiga vocal; láser; recuperación vocal.

RESUM

En el present treball s'ha realitzat una investigació sobre el tractament de cantants amb fatiga vocal, amb una nova ferramenta en rehabilitació vocal -com és el làser terapèutic de baixa intensitat-, amb l'objectiu d'observar la seua efectivitat per mitjà de l'anàlisi acústica d'unes mostres vocals preses abans i després del tractament i unes escales d'autopercepció. A través d'un estudi experimental de dos grups, un experimental (6 cantants amb tractament làser) i un control (6 cantants sense tractament), i amb els resultats obtinguts, es tractarà d'aportar un nou enfocament terapèutic, a fi d'ajudar al cantant a millorar i accelerar el seu procés de recuperació.

Paraules clau: cantants; fatiga vocal; làser; recuperació vocal.

ABSTRACT

In the present work, research has been carried out on the treatment of singers with vocal fatigue, with a new tool in vocal rehabilitation –which is the low intensity therapeutic laser–, with the objective of observing its effectiveness through the acoustic analysis of some vocal samples taken before and after the treatment and some self-perception scales. Through an experimental study of two groups, an experimental group (6 singers with laser treatment) and a control group (6 singers without treatment), and with the results obtained, we will try to bring a new therapeutic approach, in order to help the singer to improve and accelerate the recovery process.

Keywords: singers; vocal fatigue; laser; vocal recovery.

INTRODUCCIÓN

La fatiga es uno de los síntomas vocales de mayor incidencia en el cantante lírico durante sus comienzos como estudiante y a lo largo de su carrera profesional. Los cantantes, además de padecer cualquier enfermedad común relacionada con la laringe, están expuestos a desarrollar afecciones propias de la actividad que realizan por diversas razones, como pueden ser, entre otras, el empleo de una técnica inapropiada o la sobrecarga vocal.

En la actualidad, se cuenta con una gran cantidad de técnicas, métodos y pruebas diagnósticas con las que se puede observar cómo funciona el aparato fonador. Si bien todos ellos aportan grandes avances, cuando un cantante se encuentra en una situación de incomodidad vocal necesita una solución eficaz.

Como ocurre en todos los ámbitos, la tecnología y la ciencia presentan continuos avances y desarrollan nuevas herramientas, por lo que son muchas las alternativas terapéuticas de las que dispone el logopeda para satisfacer las necesidades de los cantantes. Entre ellas, se encuentra una nueva herramienta, llamada láser de baja intensidad, indicada para un uso terapéutico aplicado a la patología vocal por logopedas.

El láser está indicado para incidir en procesos inflamatorios y lesiones en los tejidos blandos, musculares y osteoarticulares del sistema muscular y esquelético. Por tanto, si la terapia láser está indicada como analgésico y antiinflamatorio en el ámbito clínico, podría ser una terapia alternativa de gran utilidad como herramienta adicional a los tratamientos convencionales logopédicos y farmacológicos para la fatiga vocal del cantante profesional.

MARCO TEÓRICO

El término “láser” es un acrónimo formado por las iniciales en inglés *light amplification by stimulated emission o radiation*, es decir, luz amplificada por la emisión estimulada de una radiación. Las primeras investigaciones sobre la radiación fueron llevadas a cabo por el gran científico Albert Einstein.[1] En 1917, expuso la teoría del efecto fotoeléctrico[2] de la luz, en la

---

[1] Albert Einstein (*Ulm –Alemania–, 1879; †Princeton –Estados Unidos–, 1955). Obtuvo el premio Nobel en Física en 1921 por su teoría del efecto fotoeléctrico.

[2] El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material al incidir sobre él una radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta). Para mayor información, consúltese: *Scielo.* Disponible *online* en:

que afirmaba que la radiación podía ser interferida estimulando a los átomos al pasar de un estado de excitación al de reposo. Dicho de otro modo, planteó que la absorción de radiación de una longitud de onda por parte de unos átomos, les estimularía para emitir radiación en esa misma longitud de onda. Esta idea dejó entrever la posibilidad de crear aparatos con los que utilizar la luz y aprovechar su poder de dispersión. Tal descubrimiento le hizo merecedor del premio Nobel en 1921 por su artículo científico titulado *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*[3] (Einstein, 1905).

Alrededor de los años 50, Townes[4] y sus colaboradores llevaron a término la teoría de Einstein mediante un experimento con el que consiguieron diseñar los primeros sistemas de amplificación de radiaciones. Ocho años después, el mismo Townes, junto a Schawlow[5] Basov[6] y Projorov[7] demostraron que era posible construir un sistema capaz de reproducir tales características.

En torno a 1960, Maiman[8] construyó el primer láser de rubí. A partir de este momento, la aparición de este dispositivo impulsó a muchos investigadores a desarrollar otros tipos de emisiones láser. Más tarde, en 1961, Javan,[9] Bennett[10] y Herdiot[11] crearon una emisión láser de

---

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73532008000100001 [fecha de consulta: 02.02.2018].

[3] Un punto de vista heurístico sobre la creación y conversión de la luz.

[4] Charles Townes (*Greenville –Estados Unidos–,1915; †Oakland –Estados Unidos–, 2015), físico que obtuvo el Premio Nobel en 1964 por la creación del máser, un dispositivo que realiza la misma función que el láser, pero utiliza radiación de microondas en lugar de luz. Fue pionero en el desarrollo de la luz láser.

[5] Arthur Leonard Schawlow (*Nueva York –Estados Unidos–,1921; †Palo Alto –Estados Unidos–,1999), físico y profesor universitario, galardonado con el Premio Nobel en 1981. En 1955, Arthur Leonard Schawlow, junto con Charles Townes, consiguió desarrollar el espectroscopio de microondas, y en 1958 disputó, infructuosamente, la patente del láser con Gordon Gould.

[6] Nikolái Basov (*Usman –Rusia–, 1922; †Moscú –Rusia–, 2001), físico y educador conocido en el campo de la electrónica cuántica en el desarrollo del láser y el máser.

[7] Aleksandr Mijáilovich Prójorov (*Atherton –Australia–, 1922; †Moscú –Rusia–, 2002), físico y profesor en la Universidad Estatal de Moscú. En 1964 compartió el Premio Nobel de Física con Nikolái Básov y Charles Hard Townes, por su trabajo pionero en láser y masers.

[8] Theodore Harold Maiman (*Los Ángeles –California–, 1927; †Vancouver –Canadá–, 2007), físico que desarrolló y patentó el primer láser formado por un rubí rosa que, bombeado por una lámpara de flash, producía un impulso de luz coherente.

[9] Ali Javan (*Teherán –Irán–, 1926; †Los Ángeles –California–, 2016), físico e inventor que, en 1959, propuso el concepto de láser de gas para *Bell Telephone Laboratories* junto a Bennett y Herriott.

[10] William Richards Bennett (*Kelowna –Canadá–, 1932; †*idem*, 2015), físico y co-inventor del láser de gas.

[11] Donald R. Herriott (*Rochester –Nueva York–, 1927; †*idem*, 2007), físico y co-inventor del láser de gas. Fue presidente de la OSA (*Optical Society of America*).

forma continua al excitar una mezcla de gases (helio y neón) mediante un campo de alta frecuencia.

De forma paralela a estos hallazgos, se investigó acerca de las muchas posibilidades prácticas de utilización de los diversos sistemas de emisión láser que proporcionaban en ingeniería, comunicaciones, informática, industria y, a partir de 1965, en medicina.

Dos años después, el profesor Inyushin de la Universidad de Alma Atta, dirigió los primeros estudios sobre "efectos biológicos del láser"[12] en animales y, en la década siguiente, Mester[13], en Budapest, realizó investigaciones que ponían de manifiesto los efectos estimulantes del láser de baja potencia tanto en el ámbito clínico como celular.

A principios de los años setenta, se demostró que un láser de baja potencia sin el efecto térmico que hasta el momento se conocía, tenía una acción estimulante sobre diversos procesos biológicos como la cicatrización, la absorción de un edema o la inflamación. Fue, por tanto, de esta modalidad atérmica como surgió el láser de baja intensidad o también conocido como láser terapéutico.

Desde ese momento, los profesores Sinclair (1965) y Knoll (1966) realizaron los primeros ensayos para adaptar el láser a la práctica médica. Otros investigadores iniciaron estudios sobre las posibilidades terapéuticas de los distintos medios emisores de láser y los efectos biológicos que producían.

En relación con el láser *HeNe*[14] –que es el que se ha utilizado para el experimento–, se registraron trabajos en torno a 1987, año en el que Karu[15] (1987) describió los fundamentos de la fotobiología de la terapia láser de baja intensidad.

---

[12] *Central Intelligence Agency*. Disponible *online* en: https://www.cia.gov/library/readingroom/docs/CIA-RDP96-00787R000500080001-0.pdf [fecha de consulta: 02.02.2018].

[13] Endre Mester (*Budapest –Hungría–, 1903; †*idem*, 1984), médico húngaro descubridor de los efectos biológicos positivos de los láseres de baja potencia, publicados en 1967 (MESTER, Endre *et al.* «Effect of laser on hair growth of mice». En: *Laser in Surgery Medicine*, 12 (1967), pp. 628-631).

[14] Láser mezcla de gases helio y neón.

[15] Tiina Karu (*Tartu –Estonia–,1947; †), profesora biología láser y miembro de la *American Society of Laser Medicine and Surgery*.

Es a partir de 1992, cuando investigadores de la talla de Noble, Shields y Bleher (1992) comenzaron a estudiar la modulación que se ejercía sobre los fibroblastos[16] con láser *HeNe*. Se observó un incremento en la producción de colágeno, con lo que el proceso de reparación de los tejidos podría verse acelerado.

Con la entrada del nuevo siglo y las investigaciones realizadas tras la aparición de la luz láser, comienza una línea de estudio profundo y exhaustivo en relación con las diferentes especialidades médicas. Dentro de los trabajos realizados en el campo de la otorrinolaringología, la aplicación láser se está llevando a cabo para el tratamiento de la inflamación como la faringitis, la laringitis (Marinho, Matos, Santos, 2013), la cicatrización tras intervenciones quirúrgicas o la absorción de edemas.

Es evidente que la terapia láser es una disciplina muy nueva y, por este motivo, no existen muchos trabajos que aludan al objeto de estudio. Actualmente, únicamente dos de ellos utilizan el láser terapéutico para tratar la patología vocal.

Por un lado, en 2015, un grupo de investigadoras del Hospital Pediátrico Docente "Pedro Borrás Astorga", realizó un ensayo clínico aleatorizado (Díaz, Ponce *et al*., 2015) con el objetivo de evaluar la efectividad de la laserterapia en niños con disfonía nodular derivados de la consulta de Logopedia y Foniatría de dicho hospital. El resultado fue que la combinación de la laserterapia y la terapia logopédica convencional fue eficaz, dado que los niños mejoraron de forma más rápida y únicamente necesitaron un ciclo de tratamiento.

Por otro lado, en 2017, Kagan y Heaton (2017) realizaron un estudio sobre la efectividad de la terapia láser para la atenuación de la fatiga vocal. Para ello, escogieron a 16 adultos vocalmente saludables y fueron expuestos a un examen por parte del ORL –para comprobar que sus cuerdas vocales no presentaban patología alguna–, así como al cuestionario CAPE-V[17]. Realizaron cuatro grupos: láser rojo, láser infrarrojo, *heat control* y grupo control. La metodología llevada a cabo fue la aplicación de 20 minutos en la superficie ventral del cuello tras someterse a una sobrecarga vocal con tareas de lectura y expresión oral durante 60 minutos entre 75-90 dB. Tras esta sobrecarga, se midió inmediatamente en términos aerodinámico y acústico junto a una

[16] Los fibroblastos son un tipo de células residentes del tejido conectivo, cuya función es producir la matriz y el colágeno extracelulares necesarios para la reparación de los tejidos.

[17] CAPE-V es un método de evaluación perceptual de la voz (*ConsensusAuditory-Perceptual Evaluation of Voice*).

escala de autopercepción. Observaron que la luz roja se mostró más eficaz en la mejora de los marcadores vocales acústicos, aerodinámicos y auto-perceptivos de la fatiga vocal.

Este último estudio es el primero en investigar el potencial de efectividad del láser terapéutico en el tratamiento de la fatiga vocal, por lo que hay que continuar con esta línea de investigación y realizar su aplicación en cantantes.

OBJETIVOS

En primer lugar, se trata de evaluar la eficacia del láser terapéutico en la reducción de la inflamación de las cuerdas vocales en cantantes con fatiga vocal debido a una sobrecarga.

En segundo lugar, se pretende establecer un nuevo enfoque terapéutico para los cantantes, al proporcionarles nuevas opciones terapéuticas de tratamiento.

Por último, se trata de agilizar el proceso de recuperación vocal de los cantantes en comparación con el reposo vocal biológico, ya que, al hacer un uso profesional/diario de su voz, necesitan que su recuperación se lleve a cabo del modo más rápido y efectivo posible.

METODOLOGÍA

La metodología empleada para la realización de este trabajo comprende las siguientes fases:

En una primera instancia, se ha realizado una primera búsqueda de información bibliográfica acerca del tema objeto de estudio, tanto en materiales físicos –libros y publicaciones– cuanto en plataformas *online*, como Pubmed[18] y MEDLINE,[19] dos de los sistemas de búsqueda que cuentan con las bases de datos más importantes en el campo de la medicina y las disciplinas relacionadas con la salud pública.

Seguidamente, se ha elaborado el marco teórico con las investigaciones –trabajos, artículos y publicaciones realizados hasta la fecha– acerca del uso del láser y la fatiga vocal del cantante.

---

[18] PubMed es una base de datos gratuita, creada y mantenida por la Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos. Esta incluye más de 26 millones de citas en las áreas de medicina, enfermería, odontología, medicina veterinaria, el sistema de salud y las ciencias preclínicas.

[19] MedlinePlus ofrece información proveniente de los Institutos Nacionales de la Salud y otras fuentes de confianza sobre temas de salud. MedlinePlus también cuenta con una enciclopedia médica, información sobre medicamentos de receta y venta libre y las últimas noticias de salud.

Posteriormente, se ha realizado una breve descripción de la fatiga vocal del cantante, así como del láser terapéutico como herramienta utilizada para el trabajo. Por un lado, en este apartado se explicita la patología sobre la que se va a investigar, la fatiga vocal. Por otro lado, se ha definido qué es el láser terapéutico y cuáles son las características propias de este equipo.

En segunda instancia, se ha llevado a cabo el proceso clínico, que consta a su vez de las siguientes fases:

- Exploración y valoración por parte del otorrinolaringólogo de cinco cantantes sin patología vocal.

- Procedimiento logopédico: análisis acústico de unas muestras de voz previo y tras tratamiento/descanso vocal mediante el programa Praat y valoración subjetiva con una escala de autopercepción de la calidad vocal.

- Realización del tratamiento con láser terapéutico a los cinco cantantes con fatiga vocal.

LA FATIGA VOCAL DEL CANTANTE

La carrera profesional de un cantante lírico conlleva a asumir diariamente el compromiso de realizar numerosas prácticas vocales y prolongados ensayos, que se intercalan con conciertos y/o funciones durante largos periodos de tiempo. Por ello, un requisito indispensable desde que el cantante inicia sus estudios es alcanzar una suficiente resistencia a la fatiga laríngea de origen fonatorio.

Según Cobeta, Núñez y Fernández (2013), los factores que producen un aumento de la fatiga vocal son (de nuevo cito literalmente):

- Los desplazamientos de tesituras tanto hacia el grave como hacia el agudo.
- El canto sobre vocales que provocan un exceso de tonicidad horizontal en las notas de paso y en el extremo agudo de toda tesitura, por ejemplo, la /i/ y la /e/ del habla (vocales estrechas).
- La emisión de sonidos abiertos (/a/, /o/, /e/ y eu) en o sobre las notas llamadas de paso. Es la causa más frecuente del trémolo o voz caprina,[20] y de los nódulos de los cantantes de voz clara.

[20] Se produce cuando el músculo vocal vibra en una frecuencia de 6,5 a 8 Hz. Si ese vibrato se produce aislado, se llama voz caprina –del italiano *capra* (cabra)–.

- El exceso de utilización de la voz de pecho en el registro de mujer, conocido como *poitrinage*.
- La ausencia del mecanismo de apoyo de la voz sobre el aliento, que lleva generalmente a los inexpertos a empujar (*spingere*) los sonidos y perder el control de la espiración. Este tipo de fatiga laríngea se manifiesta con dos síntomas evidentes: la opacidad en el timbre, que tiende a velarse, y la fatiga de la musculatura intrínseca laríngea, que provoca un inmediato acortamiento de la tesitura (el cantante queda sin agudos).

LÁSER TERAPÉUTICO

El láser es un equipo que proporciona un haz estrecho de una radiación especial de luz monocromática y coherente en un rango visible, infrarrojo o ultravioleta del espectro de las radiaciones electromagnéticas.

La luz láser tiene ciertas características que la diferencian y de las que depende su efecto terapéutico como la monocromaticidad, es decir, el láser tiene una longitud de onda de la que depende su color, con lo que permite aprovechar las características físicas y biológicas que posee la radiación de una longitud de onda determinada. La luz presenta una coherencia en su emisión, entendiendo que las ondas físicas que produce son armónicas y proporcionales y siempre se mantienen en fase. Este hecho viene determinado porque todos sus fotones coinciden en una misma dirección de propagación. Además, posee una direccionalidad rectilínea con escasa divergencia, dado que sólo se amplifican los fotones emitidos en el sentido del material emisor. Por ello, la radiación resultante tiene una marcada direccionalidad de emisión con lo que la hace idónea para diversas aplicaciones prácticas en las que se requiere precisión. Por último, el láser destaca por su brillantez. La luz es muy brillante ya que tiende al color rojo por la gran densidad fotónica que posee.

Dado su medio activo, pueden ser sólidos como un material cristalino o un vidrio capaz de emitir, líquido como un colorante orgánico fluorescente disuelto en un solvente líquido o **g**aseoso, mediante un gas o mezcla de gases. Según su tipo de emisión, los láseres pueden ser

continuos o pulsados y **s**egún su longitud de onda, se diferencian entre láseres visibles (380 nm.[21] y 780 nm), infrarrojos (por encima de los 780 nm) y ultravioleta (menor de 380nm).

El láser de helio-neón (*HeNe*) se encuentra entre los láseres más utilizados en medicina de baja potencia con una finalidad terapéutica (Canales, M. E., 2007). Se trata de un láser que puede generar varias longitudes de onda, pero la más utilizada es la de 632,8 nm de luz visiblemente roja. Está compuesto por dos gases nobles, con predominio del He (90%) frente al Ne (10%).

El mecanismo de acción se produce porque la luz láser modula el comportamiento celular sin incrementar la temperatura tisular. La energía es absorbida en los puntos donde la concentración de fluidos es mayor. En consecuencia, habrá una mayor absorción en los tejidos inflamados y edematosos, al estimular las reacciones biológicas relacionadas con el proceso de reparación.

Los efectos producidos por el láser de baja intensidad son:

Fotoeléctrico o bioeléctrico: normaliza el potencial de la membrana en las células por dos mecanismos. Por un lado, lo hace al actuar de forma directa sobre la movilidad de los iones y, por otro lado, de forma indirecta, al incrementarse el ATP producido por la célula, necesario para la función de la bomba de sodio y potasio[22] (Na+/K+).

Fototérmico (bioenergético): cuando la célula se encuentra dañada, las reservas energéticas disminuyen, y por ello, su actividad se altera. La radiación láser actúa sobre los fotorreceptores de la cadena respiratoria, activando y facilitando el paso de ADP a ATP, lo que incrementa la reserva de energía en el interior de la mitocondria.

---

[21] Corresponde a la abreviatura de nanómetro. El nanómetro es la unidad de longitud del Sistema Internacional de Unidades (SI) que equivale a una mil millonésima parte de un metro (1 nm = 10-9 m) o a la millonésima parte de un milímetro. El símbolo del nanómetro es nm y se utiliza para medir la longitud de onda de la radiación ultravioleta, radiación infrarroja y la luz.

[22] La bomba de potasio y sodio es una proteína integral fundamental en la fisiología de las células que se encuentra en todas nuestras membranas celulares. Su función es el transporte de los iones inorgánicos más importantes en biología (el sodio y el potasio) entre el medio extracelular y el citoplasma, proceso fundamental en todo el reino animal. La bomba expulsa a la matriz extracelular 3 iones sodio (Na+) a la vez que ingresa 2 iones potasio (K+) por transporte activo (gasto de ATP), lo que mantiene el gradiente de solutos y la polaridad eléctrica de la membrana (escaso sodio y abundante potasio intracelulares).

Fotoquímico (bioquímico): la interacción de la radiación láser de baja potencia con los tejidos produce numerosos fenómenos bioquímicos relacionados con la liberación de sustancias como la histamina,[23] serotonina,[24] bradicinina,[25], entre otras.

En resumen, el láser *NeHe* rojo de 660nm produce los siguientes efectos: bioestimulación en la cicatrización de tejido superficial, estimulación de la síntesis de colágeno, acción analgésica y antiinflamatoria, y circulatorio para la absorción de edemas.

ESTUDIO

Este estudio experimental ha estado compuesto por dos grupos (uno experimental y uno control) y se ha llevado a cabo en un periodo de dos semanas durante el mes de abril del presente año. El estudio ha sido realizado en el Conservatorio Superior de Música "Joaquín Rodrigo" de Valencia. El edificio cuenta con aulas acondicionadas acústicamente para la toma de las muestras con la amortiguación de ruidos externos que podrían interferir en la misma. La población del estudio estaba formada por estudiantes de Canto lírico que actualmente se encuentran vocalmente activos.con edades comprendidas entre los 26 y los 32 años, con un diagnóstico por parte del otorrino de buena salud vocal. El tamaño de la muestra para este estudio fue de diez cantantes.

El procedimiento para la realización del estudio se conformó en primer lugar, por la valoración por parte del ORL con el fin de descartar alteraciones vocales que influyeran negativamente en los resultados del estudio. Una vez valorados por el ORL, se llevó a cabo el estudio propiamente dicho:

---

[23] La histamina es una sustancia que está involucrada en las respuestas locales del sistema inmunitario y actúa como neurotransmisora en el sistema nervioso central.

[24] La serotonina es una sustancia cuya función es fundamentalmente inhibitoria y repercute en el sueño y los estados del ánimo, emociones y estados depresivos. Afecta al funcionamiento vascular y la frecuencia cardíaca.

[25] La brandinicina es una potente vasodilatadora dependiente del endotelio, que provoca la contracción del músculo liso, aumenta la permeabilidad vascular y está relacionada con el mecanismo del dolor.

Grupo 1 (Experimental)	**Grupo 2 (Control)**
Actividad fonatoria de 45 minutos (clase de Canto o clase de Repertorio de Canto) Valoración subjetiva –de 0 a 10– del estado vocal	Actividad fonatoria de 45 minutos (clase de Canto o clase de Repertorio de Canto) Valoración subjetiva –de 0 a 10– del estado vocal
5-10 minutos	5-10 minutos
Grabación 1	Grabación 1
Tratamiento Láser durante 30 minutos Valoración subjetiva –de 0 a 10– del estado vocal	35 minutos de reposo. Valoración subjetiva de –de 0 a 10– del estado vocal
5 minutos	
Grabación 2	Grabación 2

El contenido de las muestras vocales que se tomó para, posteriormente, proceder a su análisis acústico y valorar, con los datos obtenidos, las diferencias entre ambos grupos fue la realización de una [á] prolongada de al menos 3 segundos. Se tomó tres veces la [á] para elegir la mejor muestra.

Para el análisis acústico de las muestras de voz se utilizó el programa Praat. Es una herramienta para el análisis acústico desarrollada por Paul Boersma y David Weenink (2004) en el Instituto de Ciencias Fonéticas de la Universidad de Ámsterdam.

La señal acústica se registró mediante el uso del *software* Praat, para Windows 10. El ordenador utilizado fue un PC, con una memoria RAM de 12Gb. Para la digitalización de la señal vocal, se instaló una tarjeta de sonido (Behringer U-Phoria UM2 Interfaz de Audio USB) compatible con Windows de 16bit de resolución con una entrada de respuesta de frecuencia de 10 Hz - 30 kHz (0dB /-0.5dB).

El micrófono utilizado fue Oktava Mk 012-01 MSP2 Matched Pair. Reunía las siguientes características: unidireccional y dinámico, tipo condensador con un patrón polar cardioide. La respuesta de frecuencia es de 20 - 20000 Hz, con una sensibilidad: (10mv/pa) y una impedancia nominal de 300 Ohms. Se utilizó un micrófono de alta resolución frecuencial que se colocó a 10cm de la boca del paciente, mientras este realizaba la fonación de una vocal /a/ a intensidad

y tono cómodo en una aula con elementos amortiguadores de sonido. De la emisión, se extrajeron 3 segundos para realizar el análisis.

Para realizar el tratamiento, se ha utilizado el *Biolaser R6 Soft laser whith acupuncture detector*, del fabricante GML (*German Medical Laser*). Este aparato emite una luz roja que cuenta con una longitud de onda de 650 nm y una potencia de salida 5mW. Es un láser que está clasificado como CLASE 2M y tiene una distancia nominal de daño ocular de 27 cm y un haz de divergencia de 4º-14º. Funciona con 4 pilas AAA y tiene un peso de 144.5 g y una longitud de 19.5 cm.

El tratamiento a los cinco cantantes seleccionados se llevó a cabo de la siguiente manera:

En primer lugar, se entregó a cada paciente el consentimiento informado acerca de la intervención completa, para que procediera a su firma y quedara constancia escrita de todo el proceso.

A continuación, se siguió el protocolo de seguridad indicado por el fabricante. Se debe limpiar la piel del paciente de la zona a tratar y colocar gafas protectoras tanto al paciente como al especialista.

En tercer lugar, se procedió a la aplicación del láser terapéutico en el espacio cricotiroideo, a la altura de las cuerdas vocales.

Por último, se apagó el equipo y se retiraron las gafas protectoras.

Sólo se realizó una aplicación, puesto que, en un caso de fatiga vocal, el reposo favorece la recuperación de la inflamación cordal y pericordal, razón por la cual, se realiza una medición tanto antes como después de la aplicación, ya que de no ser así, quedaría constancia de que la mejoría del cantante es debida al láser y no a otro factor o variable.

RESULTADOS

Para el presente trabajo, se utilizaron tres tipos de análisis de datos: análisis cualitativo, cuantitativo y subjetivo.

El análisis acústico instrumental es el que se realiza mediante herramientas tecnológicas que permiten medir diferentes parámetros físicos de la voz. Dentro de este tipo de análisis se pueden diferenciar: el análisis espectrográfico o cualitativo, y el análisis multidimensional o cuantitativo.

Análisis cualitativo

Para el estudio, se utilizó el espectrograma de banda estrecha, dado que es el que permite la discriminación de frecuencias muy próximas, a fin de observar cada uno de los armónicos como estriaciones horizontales en las que se concentra la energía (frecuencia fundamental y sus múltiplos).

Tras analizar la mejor de las tres muestras recogidas tanto en el pre y post-tratamiento como en el pre y post sin tratamiento, se observan cambios en los espectrogramas analizados con tratamiento láser y una mayor uniformidad en los espectros llevados a cabo sin la aplicación del tratamiento. Existe una tendencia, aunque no son datos significativos, al aumento de energía de los formantes y armónicos, sobre todo de los graves, en los espectrogramas del grupo experimental, mientras que en los del grupo control apenas se mostraron diferencias en los parámetros analizados.

Análisis cuantitativo

Para el análisis acústico, se determinaron los parámetros en términos de acústica de la voz: *Jitter*, *Shimmer*, relación armónico-ruido (HNR) y el valor de la frecuencia fundamental (F0), proporcionados por el programa Praat.

Jitter: este parámetro mide las variaciones de frecuencia durante una emisión vocálica prolongada. De esta medida se extrae la estabilidad del sistema fonatorio del cantante. El *software* compara las diferencias de frecuencia que se producen entre los ciclos vibratorios cercanos.

Shimmer: este parámetro mide las variaciones de intensidad durante una emisión vocálica prolongada. En un sujeto normal, la estabilidad de la intensidad debe de ser constante. El *software* mide las diferencias de intensidad existentes entre las amplitudes de cada pico frecuencial.

HNR (*harmonic-to-noise ratio*): este parámetro mide la presencia de ruido en la señal de la voz. Este ruido puede tener diversos orígenes: variaciones de frecuencia o la amplitud, ruido por turbulencia, presencia de componentes subarmónicos o existencia de rupturas de voz.

F0 (frecuencia fundamental): este parámetro es el promedio expresado en Hz para todos los periodos extraídos de la onda acústica.

Para el análisis de los datos cuantitativos se procedió a extraer la media de las tres muestras de la vocal [á] realizadas por los participantes. En las siguientes tablas (2 y 3) se muestra una comparativa de los resultados obtenidos en relación a los parámetros valorados en el pre-tratamiento y en el post-tratamiento:

	FO	Jitter	Shimmer	NHR
Inf-1	255	0,21	1,16	27,1
Inf-2	219	0,21	3,06	22,7
Inf-3	278	0,15	1,48	28,9
Inf-4	273	0,28	2,46	25,4
Inf-5	258	0,35	1,75	25,8
Inf-6	241	0,18	1,22	27,1

Tabla 1: Resultados del grupo experimental de los parámetros acústicos valorados pre-tratamiento láser.

	FO	Jitter	Shimmer	NHR
Inf-1	276	0,23	1,39	26,1
Inf-2	230	0,17	2,41	24,6
Inf-3	284	0,18	1,42	27,5
Inf-4	281	0,22	2,58	22,9
Inf-5	248	0,37	1,92	24,0
Inf-6	236	0,17	0,92	28,4

Tabla 2: Resultados del grupo experimental de los parámetros acústicos valorados post sin tratamiento láser.

Como se puede observar en las tablas precedentes, los datos no apuntan en la dirección esperada, dado que, tras la aplicación del láser, los resultados no son mejores en el pre-tratamiento respecto a los parámetros acústicos de F0, *Jitter*, *Shimmer* y NHR. Se observan mejoras en los parámetros de F0, siendo mejores los resultados de los cuatro primeros participantes. En los parámetros del *Jitter* y *Shimmer*, son la mitad de los participantes los que muestran mejoría y, dos de ellos mejoraron los niveles de NHR. Por tanto, no se aprecian mejoras que muestren una tendencia clara y significativa.

A continuación, en las siguientes tablas (3 y 4), se muestra una comparativa de los resultados obtenidos en relación a los parámetros valorados antes del reposo vocal y después del reposo vocal, es decir, sin la aplicación de tratamiento alguno:

	FO	Jitter	Shimmer	NHR
Inf-1	282	0,25	1,51	24,9
Inf-2	245	0,15	1,63	27,0
Inf-3	239	0,25	1,75	26,2
Inf-4	295	0,25	2,34	24,8
Inf-5	233	0,44	2,30	23,5
Inf-6	239	0,23	1,24	26,1

Tabla 3: Resultados del grupo control obtenidos de los parámetros acústicos valorados pre sin tratamiento láser.

	FO	Jitter	Shimmer	NHR
Inf-1	243	0,28	1,69	25,2
Inf-2	214	0,33	4,09	21,2
Inf-3	307	0,18	1,29	28,4
Inf-4	288	0,18	2,51	25,1
Inf-5	255	0,47	1,76	24,3
Inf-6	248	0,21	1,02	27,0

Tabla 4: Resultados del grupo control obtenidos de los parámetros acústicos valorados post sin tratamiento láser.

Como indican las tablas anteriores, se observan mejoras en los parámetros de NHR de cinco de los seis participantes, con lo que el descanso vocal tras una actividad fonatoria reduce el nivel de ruido en la voz. Al igual que el grupo experimental, en los parámetros del *Jitter*, *Shimmer* y F0, son la mitad de los participantes los que muestran mejoría.

A continuación, se comparan los resultados obtenidos entre los parámetros acústicos valorados del grupo experimental y los datos del post del grupo control en los siguientes gráficos:

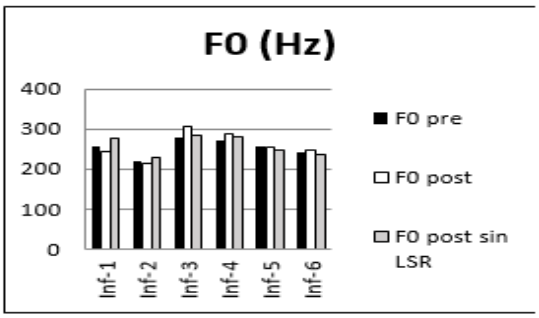


Gráfico 1. Comparativa de FO.

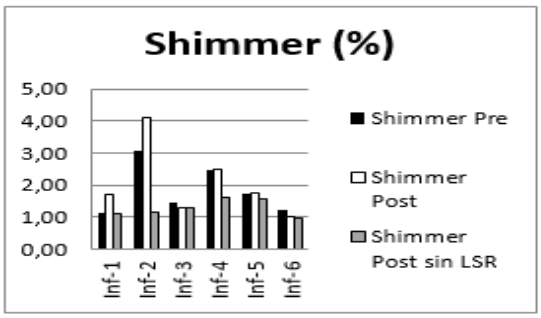


Gráfico 2. Comparativa de *Shimmer*.

Según el gráfico 1, en el que se comparan los valores de F0 del pre-tratamiento con los post, tanto del grupo experimental como del grupo control, no se aprecian diferencias muy significativas. Si se establece una comparativa entre la F0 del post con y sin tratamiento, se observa que hay mejoría en los cuatro últimos pacientes de dicho parámetro, pero no se trata de unas cifras que marquen una tendencia clara.

Si se comparan las cifras del *Shimmer* –gráfico 2–, se observa un aumento o mantenimiento de dicho parámetro, con lo que se dirige a una línea totalmente contraria a lo esperado, ya que deberían verse reducidos dichos valores.

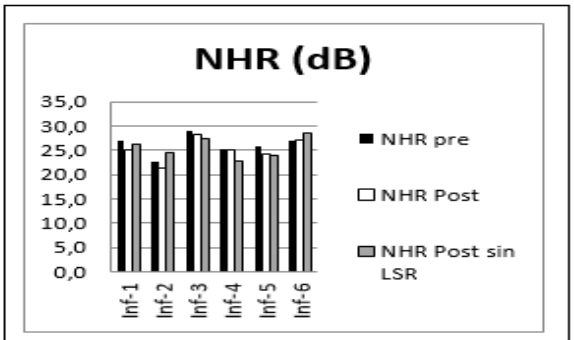


Gráfico 3. Comparativa de NHR.

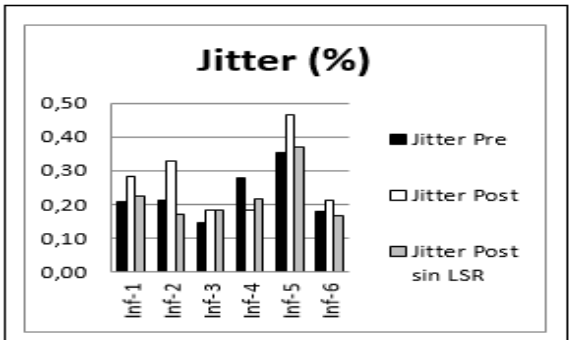


Gráfico 4: Comparativa de Jitter.

Respecto al parámetro NHR, es decir, el nivel de ruido o aire en la voz, se esperaría un incremento de los valores respecto al pre. Según el gráfico 3, no aparecen mejores resultados en comparación con el post con y sin tratamiento e incluso con el pre.

Tal y como muestra el gráfico 4, son los valores de *Jitter* los más alentadores, puesto que hay una tendencia a la mejoría en la mayoría de los casos, siendo el único parámetro acústico a destacar por la obtención de mejores resultados tras el tratamiento láser.

Análisis subjetivo

Una vez recogidas las muestras de voz de cada uno de los participantes, se les proporcionó una escala de valoración numérica para que estimaran el estado vocal en el que se encontraban tras realizar la actividad vocal y el tratamiento, para el grupo experimental, o tras el descanso vocal, para el grupo control.

Para el análisis de los datos obtenidos mediante las escalas numéricas previamente puntuadas o valoradas por cada uno de los cantantes del grupo experimental, se extrajeron los siguientes datos tal y como muestra la siguiente tabla:

GRUPO EXPERIMENTAL	Valoración estado voz PRE-TRATAMIENTO	Valoración estado voz POST-TRATAMIENTO
CANTANTE L_01	6	7'5
CANTANTE L_03	8	10
CANTANTE L_05	7	9
CANTANTE L_07	3	6'5
CANTANTE L_09	5'5	7
CANANTE L_11	6	7'5

Tabla 5: Cuadro comparativo del grupo experimental con los resultados obtenidos de las escalas de auto-percepción realizadas antes y después del tratamiento láser.

La autopercepción de cada uno de los cantantes del grupo experimental acerca del grado de fatiga vocal (0: muy fatigada; y 10: voz en perfectas condiciones), mostró resultados significativos, ya que todos los participantes puntuaron con una media de dos puntos entre el pre y el post-tratamiento.

A continuación, se reflejan los datos obtenidos del grupo control en la siguiente tabla:

GRUPO CONTROL	Valoración estado voz PRE-DESCANSO	Valoración estado voz POST-DESCANSO
CANTANTE L_02	9	9
CANTANTE L_04	10	10
CANTANTE L_06	8	9
CANTANTE L_08	2	2
CANTANTE L_10	5	5'5
CANTANTE L_12	5	6'5

Tabla 6: Cuadro comparativo del grupo control con los resultados obtenidos de las escalas de auto-percepción realizadas antes y después del descanso vocal.

Los datos de la anterior tabla apuntan que, tras el reposo vocal de 30 minutos de duración en comparación al nivel de fatiga vocal después de realizar la clase de Canto, la percepción de la fatiga vocal no había sufrido grandes cambios, dado que los resultados son iguales o muy próximos.

Por ello, se puede afirmar que los resultados del grupo experimental y del grupo control coinciden con la hipótesis esperada, puesto que la percepción de la fatiga vocal tras la aplicación del láser había mejorado, mientras que, sin tratamiento, los valores del pre se mantienen iguales a los del post.

CONCLUSIONES

En este estudio, se ha investigado sobre la eficacia del láser de baja potencia (LLLT) para disminuir los síntomas de fatiga vocal de los cantantes líricos. En todos los casos estudiados y con los métodos de análisis cuantitativo, no se ha observado que los sujetos del grupo

experimental hayan presentado resultados muy significativos en comparación con los resultados del grupo control.

Sin embargo, según el análisis cualitativo, los espectrogramas de banda estrecha mostraban una mayor de concentración de energía sobre los formantes principales, con lo que los cantantes del grupo experimental respecto al grupo control obtuvieron un aumento de la riqueza formántica de su espectro acústico-vocal.

Además, atendiendo al análisis subjetivo, los cantantes del grupo con la aplicación del láser mostraron una percepción de mejoría en su fatiga vocal. Los datos del grupo control fueron los esperados, dado que con un reposo de 30 minutos de duración no experimentaron mejoras en su percepción de la fatiga.

Los resultados obtenidos del grupo experimental demuestran que la aplicación láser de baja frecuencia en el espacio crico-tiroideo a razón de 30 minutos de duración no es eficaz desde un punto de vista cuantitativo, pero sí cualitativo y subjetivo en comparación al grupo control.

En conclusión, los resultados de este estudio no demuestran objetivamente que la aplicación del láser de baja potencia sea un método eficaz para mejorar los signos de fatiga vocal del cantante profesional. Será necesario abordar estudios de mayor envergadura que puedan controlar muchas más variables, como la cantidad de la muestra, el tiempo de actividad fonatoria para provocar fatiga, el nivel de actividad vocal previa a la realización de la aplicación o la dosimetría.

El láser es una nueva herramienta terapéutica que puede mejorar ostensiblemente el proceso de recuperación de una persona tras la exposición de una actividad vocal de alto rendimiento –como la que se aborda en el Canto Lírico–, y agilizar dicho proceso, según la bibliografía publicada. Aunque los resultados de este trabajo no hayan corroborado de forma absolutamente fehaciente la hipótesis principal, son necesarias futuras investigaciones que valoren la eficacia del láser de baja intensidad para uso de profesionales de la voz, y, teniendo en cuenta la metodología y la muestra seleccionada para el presente trabajo, se puedan establecer otros parámetros a fin de evaluar y controlar la mayor cantidad de variables posible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, J. *et al*. (2006). Cuantificación de la calidad de la voz para su evaluación clínica por medio del análisis acústico. *Actas de las IV Jornadas en Tecnología del Habla*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

BOERSMA, P, WEENICK, D. (2004). PRAAT. *Doing the phonetics by computer. Versión 4.1.28*. [*Software* de análisis acústico]. Ámsterdam: Universidad de Ámsterdam,.

BOYEROS, E., ALFONSO, J. (2005). Uso de láser de baja potencia en Otorrinolaringología». *Revista Médica Electrónica*, 27, 35-48.

CANALES, M. E. (2007). El láser de media potencia y sus aplicaciones en medicina. *Plasticidad y restauración neurológica, 6*, 1-9.

CHANG, A., KARNELL. M. (2004). Perceived phonatory effort and phonation threshold pressure across a prolonged voice loading task: a study of vocal fatigue. *JVoice*, 18, 454-466.

COBETA, I., MORA, E. (2013). Patología de la voz. *Patología de la voz cantada*. *Ponencia oficial de la Sociedad Española de Otorrinolaringología y Patología Cérvico-Facial*, 547-548. Valencia: Marge Médica Books.

DÍAZ, S., PONCE, A., *et al*. (2016). Eficacia del tratamiento combinado logofoniátrico y laserterapia en niños con disfonía nodular. *Revista Espacio Logopédico.* Recuperado de: https://www.espaciologopedico.com/revista/articulo/3152/eficacia-del-tratamiento-combinado-logofoniatrico-y-laserterapia-en-ninos-con-disfonia-nodular-parte-xx.html.

EINSTEIN, A. (1905). Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz heurística de la generación y conversión de la luz. *Annalen der Physik*, 17, 132-148.

GONZÁLEZ, J. *et al*. (2002) Análisis acústico de la voz: fiabilidad de un conjunto de parámetros multidimensionales. *Acta Otorrin olaringol. Esp*. Elsevier , 256-268.

HERNÁNDEZ, A. (2007). *El láser terapéutico en la práctica médica actual*. La Habana: Científico-Técnica.

INYUSHIN, V. M., CHEKOROV, P. R. (1976). *Stimulation through laser radiation and bioplasma.* Recuperado de https://www.cia.gov/library/readingroom/docs/CIA-RDP96-00787R000500080001-0.pdf.

KAGAN, L., HEATON, J. (2017). The effectiveness of Low-Level Light Therapy in Attenuating Vocal Fatigue. *Journal of Voice*, 31, 384.e15–384.e23.

KARU, T. (1987). Photobiological fundamentals of low-power laser therapy. *IEEE J Quantum Electron*, 23, 1703-1717.

KARU, T., PYATIBRAT, L., KALENDO, G. (1995). Irradiation with HeNe laser increases ATP level in cells cultivated in vitro. *JPhotochemPhotobiolB*, 27, 219-223.

KNOLL, H. (1966). Measuring ametropia with a gas laser. A preliminary report. *Optometry and Vision Science*, 7, 415-418.

KOUFMAN, J., BLALOCK, D. (1988). Vocal fatigue and dysphonia in the professional voice user: Bog- art-Bacall syndrome. *Laryngoscope*, 98, 493-498.

LASIR, C. (1993). *Tratado de Laserterapia.* Madrid: Miraguano.

MARINHO, R., MATOS, R., SANTOS, J., *et al.* (2013). Potentiated anti-inflammatory effect of combined 780 nm and 660 nm low level laser therapy on the experimental laryngitis. *J Photochem Photobiol B.*, 121, 86-93.

MENALDI-JACKSON, M. C. (2002). *La voz patológica.* Argentina: Panamericana.

MESTER, E. *et al.* (1967). Effect of laser on hair growth of mice. *Laser in Surgery Medicine*, 12, 628-631.

MESTER, E., MESTER, A. F., MESTER, A. (1985). The biomedical effects of laser applications. *Lasers in Sugery and Medicine*, 5, 31- 35.

NOBLE, P., SHIELDS, E., BLECHER P., *et al.* (1992). Locomotory characteristics of fibroblasts within a three dimensional collagen lattice: modulation by a helium/neon soft laser. *Lasers Surg Med*., 12, 669-674.

NÚÑEZ, F., MORENO, A. (2013). Patología de la voz. *Abuso y mal uso vocal. Valoración de la incapacidad. Ponencia oficial de la Sociedad Española de Otorrinolaringología y Patología Cérvico-Facial*, 491-492.Valencia: Marge Médica Books.

RONTAL, E., *et al*. (1975). Objective Evaluation of vocal pathology using voice spectrography. *Annais of Otology, Rhinology and Laringology*, 87, 662-671.

SINCLAIR, D. (1965). Demonstration of Chromatic Aberration in the Eye Using Coherent Light. *Journal of the Optical Society of America*, 5, 575-576.

THIBEAULT, S., GRAY, D., LI W., *et al.* (2002). Genotypic and phenotypic expression of vocal fold polyps and Reinke's edema: a preliminary study. *Otol Rhinol Laryngol*, 111, 302-309.

VALIENTE, C., GARRIGÓ, M. I. (1995). *Laserterapia en el tratamiento de las afecciones odontoestomatológicas.* Ciudad de La Habana: Academia.