

Vibrato de la voz cantada. Caracterización acústica y bases fisiológicas

M. Marqués Girbau*, S. Fernández González*, MI. Uzcanga Lacabe**, D. Ruba San Miguel, R. García-Tapia Urrutia*

* Laboratorio de Voz. Departamento ORL. Clínica Universitaria. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra

** Servicio de Otorrinolaringología. Hospital de Navarra, Pamplona

Correspondencia:

Secundino Fernández. Laboratorio de Voz. Departamento ORL.
Clínica Universitaria. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra.
Apdo. 4209. 31080 Pamplona
(sfgonzalez@unav.es)

Resumen

El vibrato es uno de los ornamentos más comunes del canto clásico occidental y de la música destinada a aquellos instrumentos que pueden producirlo. El vibrato vocal corresponde físicamente a una modulación periódica sinusoidal de frecuencia fundamental de la fonación.

El vibrato hace que la voz suene agradable, viva, excitante, cálida, menos mecánica que aquella que se consigue al emitir un tono plano. Da naturalidad y expresividad al sonido vocal. La mayoría de los cantantes lo consideran un elemento deseable pero no todos son capaces de desarrollarlo. Parece que la aparición del vibrato depende de un nivel técnico determinado. Se revisan las consideraciones históricas, las propiedades físicas, acústicas y aerodinámicas del vibrato. Se establecen hipótesis en lo referente a su origen y se plantean estrategias dirigidas a facilitar su desarrollo y aprendizaje.

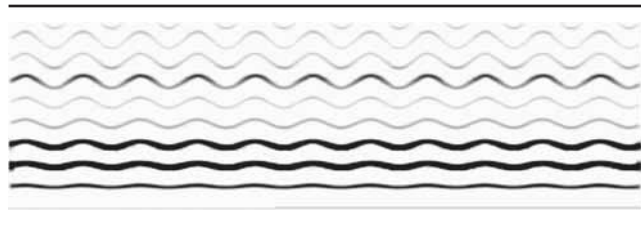
Palabras clave: Vibrato, voz, canto.

Definición de vibrato

El vibrato es uno de los ornamentos más comunes del canto clásico occidental y de la música destinada a aquellos instrumentos que pueden producirlo.

El vibrato vocal corresponde físicamente a una modulación periódica sinusoidal de la frecuencia de fonación⁵² (Figura 1). Consiste en pulsos de flujo de aire emitidos desde la glotis y la modulación es la variación de la frecuencia fundamental y/o de

Figura 1. Ejemplo de espectrograma de banda estrecha en el dominio del tiempo correspondiente a un vibrato. Se observa la modulación periódica sinusoidal de la frecuencia de la fonación



Summary

Vibrato is one of the most frequent ornamentations of western classical song, and of certain types of instrumental music. Physically speaking, vocal vibrato is a periodic sinusoidal modulation of the fundamental frequency of phonation.

Vibrato makes the voice sound pleasant, lively, exciting, warm and less mechanical than when a flat pitch is used. It makes the voice sound natural and expressive. Most singers regard it as desirable, but not all are capable of developing it. It would seem that vibrato can only be developed at a certain technical level. Historical considerations are reviewed, and the physical, acoustic and aerodynamic properties of vibrato are discussed. Hypotheses are advanced regarding its origin, and strategies are described which facilitate its acquisition and development.

Kew words: Vibrato, voice, singing voice.

la amplitud a lo largo de varios ciclos⁷⁴. La regularidad de la frecuencia entre un ciclo y otro es un signo de destreza vocal.

El vibrato hace que la voz suene agradable, viva, excitante, cálida, menos mecánica que un tono plano, da naturalidad al sonido vocal. La mayoría de los cantantes lo consideran un elemento deseable, un ornamento o una característica de sus voces.

En el cantor debutante el vibrato no existe, se desarrolla con el entrenamiento vocal y puede observarse en la mayoría de los cantantes occidentales^{3, 40, 41, 64}. Surge de forma involuntaria durante la educación vocal para el canto pero no es algo sujeto a un entrenamiento específico^{16, 43, 81}. Perelló⁴⁰ en cambio afirma que el vibrato puede adquirirse con el entrenamiento vocal.

La estética del vibrato que varía de una cultura a otra, nosotros haremos referencia al vibrato empleado por los cantantes de ópera occidental.

Consideraciones históricas

Según Perelló⁴⁰ en el siglo XVII, junto a los últimos años del XVI y parte del XVIII el canto individual adquiere el máximo relieve por encima de los coros y empieza la ejecución del vibrato

vocal que da mucha más belleza a la voz, es la época de Farinelli, Caffarelli, Pistochi y Porpora. A lo largo del siglo XIX y primera mitad del XX hubo un cambio en el comportamiento vocal, se canta en auditorios de mayor envergadura y con mayores orquestas que exigen una voz de mayor volumen. Se introduce la técnica del "covering" que Manuel García¹² denomina *la voix sombrée* en la que la técnica del descenso de la laringe crea un mayor potencial acústico y produce un vibrato en el que las modulaciones de frecuencia son mayores⁴⁴.

Mattheson (1739) fue quizás el primero en aventurarse a plantear una hipótesis sobre la fisiología del vibrato vocal: "The tremolo, or *Beben* (vibrate), of the voice is the most gentle motion possible on a single definite note, in the production of which the main action occurs in the epiglottis (*Oberzüngelein*) of the throat, moving in a very soft way to moderate the breath, just as on instruments the soft movement of the fingertips without changing their positions can accomplish the same thing, especially on lutes, violins, and clavichords"⁹.

Seashore⁵⁴ que inició el estudio del vibrato en la Universidad de Iowa define el vibrato del cantante en términos físicos, psicológicos y estéticos como "una pulsación de la frecuencia fundamental, acompañada generalmente de pulsaciones sincrónicas de la intensidad y del timbre, de tal extensión y frecuencia que producen una agradable sensación de flexibilidad, ternura y riqueza del tono". Considera al vibrato como "una cualidad del tono análoga al timbre y el oyente no debe preocuparse acerca de sus componentes más de lo que se preocupa por la presión relativa o el predominio de los armónicos. Aspectos ambos que enriquecen el tono".

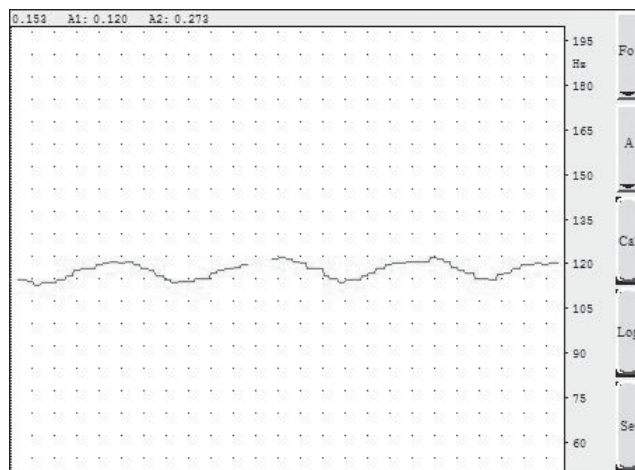
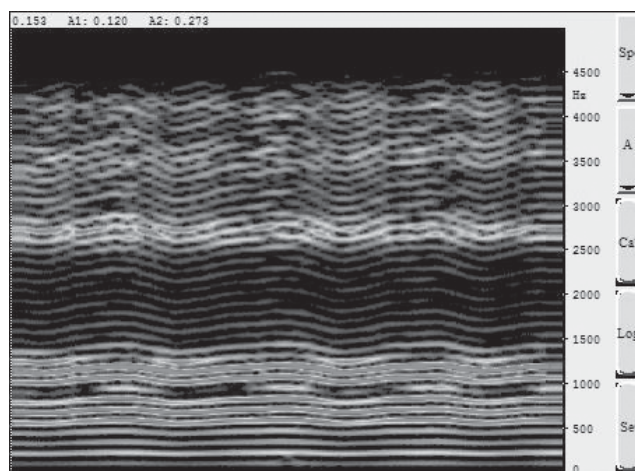
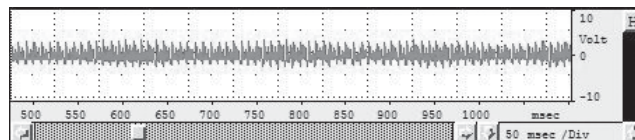
Sundberg⁶⁸ describe dos tipos de vibrato, producidos por distintos mecanismos y con efectos acústicos diferentes, el vibrato de la ópera occidental y el de la música popular. El vibrato de la ópera occidental se produce normalmente por pulsaciones en el músculo cricotiroideo que eleva el tono y es considerado un vibrato de frecuencia que corresponde a una modulación sinusoidal de la frecuencia fundamental. (Figuras 2a, 2b y 2c) Como efecto secundario, el vibrato de frecuencia se acompaña de una modulación de la amplitud debido a que los armónicos cercanos a un formante varían en amplitud dependiendo de su distancia respecto a ese formante. En la música popular se emplea otro tipo de vibrato que parece producirse por variaciones periódicas de la presión subglótica que producen una modulación de la amplitud de la fuente vocal y se denomina vibrato de intensidad. El vibrato de amplitud conlleva una modulación en la frecuencia por el efecto de la variación de la presión subglótica en la frecuencia fundamental.

Descripción física (acústica) del vibrato

El mecanismo primario del vibrato clásico occidental consiste en una modulación casi periódica de la frecuencia fundamental^{4, 64}. Junto a esta modulación se produce una variación sincrónica de las frecuencias de los armónicos en toda la amplitud del tono.

El fenómeno del vibrato únicamente puede comprenderse a la luz de la teoría acústica de la fonación que supone que las características de los flujos de aire transglóticos vienen determinados enteramente por la presión subglótica y los ajustes de las

Figura 2a. Ejemplo de oscilograma correspondiente a un vibrato de frecuencia. **Figura 2b.** Espectrograma de banda estrecha en el dominio del tiempo correspondiente al oscilograma de la figura 2ª correspondiente a un vibrato de frecuencia. Se observa la modulación periódica sinusoidal de la frecuencia de la fonación y de los distintos armónicos. **Figura 2c.** Extracción de la frecuencia fundamental del ejemplo de espectrograma de la figura 2b correspondiente a un vibrato de frecuencia. Se observa la modulación periódica sinusoidal de la frecuencia de la fonación.



cuerdas vocales, independientemente de las resonancias del tracto vocal. Desde la glotis hasta los labios los parciales de la fuente vocal atraviesan el tracto vocal que actúa como un resonador cuya curva de frecuencias depende de su configuración y se caracteriza por picos de resonancia o frecuencias

formantes y valles entre ellos. La amplitud del espectro de un parcial depende así de dos circunstancias: en primer lugar, de su amplitud en el espectro glótico, y en segundo lugar de su distancia respecto a la frecuencia de resonancia del tracto vocal. Esto tiene una importancia relevante en el vibrato ya que todo el espectro de sus parciales varía en frecuencia y así constantemente varía su distancia con respecto al formante más próximo dando lugar a un aumento o disminución del nivel de presión sonora (SPL) de la voz al radiarse desde los labios^{19, 20, 53}, además de la contribución de las fluctuaciones del espectro de la voz y de las vibraciones de la pared del tracto vocal que producirán una modulación de las frecuencias formantes²². (Figura 3a y 3b)

Desde el punto de vista acústico el vibrato está bien caracterizado y se describe como una fluctuación regular en el tono, timbre y/o intensidad del sonido emitido^{6, 40, 36, 50}. Los parámetros físicos del vibrato considerados como aceptables varían según el estilo de canto. Para el canto occidental el estándar se sitúa en un rango de frecuencia entre 5,5 y 7,5 ciclos/segundo o Hz y una extensión de +/- 1 o 2 semitonos. (Figura 4)

Los investigadores^{46, 54, 68, 70} coinciden en que hay tres parámetros medibles fundamentales en el vibrato:

Figura 3a. Espectrograma en el dominio del tiempo de banda estrecha correspondiente a una parte del aria "O mio babbino caro" perteneciente a la ópera Gianni Schicchi de Giacomo Puccini, 1918. El vibrato que se observa en el espectrograma confiere toda la expresividad al canto. **Figura 3b.** Aria "O mio babbino caro", Lauretta; Gianni Schicchi G. Puccini. La parte sombreada es la que se corresponde con el espectrograma.



Andantino Ingenno (♩ = 120)

Lauretta

O mio bab-bi - no ca - ro, mi pla-ce è bel - lo,

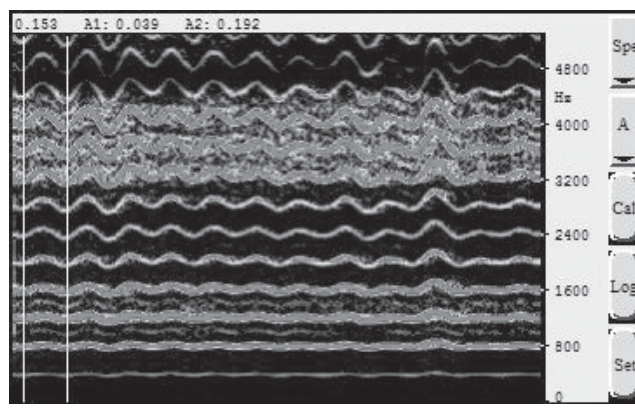
tuè - lo: vo'an - da - re in Por - ta Ros - sa

a con-pe-rar l'a - nel - lol Sì, sì, ci vo-glio an-

-da - rel

- La *frecuencia* de la modulación de la frecuencia fundamental de la voz, nº de pulsaciones alrededor de la media.
- La *extensión* de la modulación alrededor de la media.
- La *amplitud o intensidad* del vibrato, el desplazamiento de los armónicos en relación con los formantes.

Figura 4. Espectrograma de banda estrecha en el dominio del tiempo correspondiente a un vibrato de frecuencia. Se observa la modulación periódica sinusoidal de la frecuencia de la fonación y de los distintos armónicos. La duración del periodo de la fluctuación de la frecuencia es de 0,153 segundos que implica una frecuencia del vibrato de 6,53 Hz)



Frecuencia

Se refiere a la frecuencia de la modulación de la frecuencia fundamental, al número de ondulaciones por segundo. Una frecuencia inferior a 5,5 Hz o superior a 7,5 Hz se considera poco estética y sintomática de patología vocal. Por debajo de 5 ciclos/segundo se percibe la ondulación de la nota y no se percibe con claridad un tono uniforme, es lo que puede ocurrir en la senectud^{7, 16, 65} o en voces forzadas. Por encima de 7 ciclos/segundo el tono parece nervioso, inestable tembloroso, voz caprina^{5, 40}.

Sundberg⁶⁸ afirmó que la que la frecuencia del vibrato es generalmente constante en cada cantante y éste generalmente es incapaz de variarla voluntariamente salvo excepciones. Por otro lado King y Horii²⁷, Vennard⁸¹ y Ruhlman⁴⁹ consideraron que los cantantes tienen control voluntario sobre la frecuencia del vibrato. Shipp et al⁶¹ refieren que la frecuencia del vibrato no está determinada de forma consciente o ambiental pero sí por algún factor intrínseco, además sugieren que puede ser inhibido voluntariamente de distintas formas y que cuanto más entrenado estaba el cantante más precisa es la inhibición de las oscilaciones.

En las mujeres el vibrato es más rápido que en los varones^{29, 59}. En la senectud se observa un descenso en la frecuencia y un aumento en la extensión del vibrato⁶⁵. Titze et al⁷⁶ en su modelo de resonancia refleja del vibrato han sugerido que para este fenómeno puede tener lugar una conducción nerviosa y una contracción muscular menor, sin embargo algunos cantantes (Alfredo Krauss, Eleanor Steber) fueron capaces de man-

tener su vibrato con pocos cambios incluso a edades avanzadas.

Se ha observado que la frecuencia del vibrato se acelera durante los últimos 5 ciclos inmediatamente antes del cambio de tono⁴² y que durante el canto la frecuencia es mayor que durante la fonación de una vocal sostenida^{55, 59, 82} especulando que el involucrarse emocionalmente hace aumentar la frecuencia.

Según Perelló cada cantante tiene una frecuencia fija y constante del vibrato y no existe ninguna relación entre esta frecuencia y la clasificación vocal.

Con el estudio el vibrato puede variar en frecuencia y amplitud. El vibrato de intensidad es extremadamente variable, hay artistas célebres que no lo tienen, en cambio el de frecuencia es muy regular.

Para Bennet² el tono afecta a la frecuencia del vibrato.

Los cantantes en aprendizaje son capaces de variar de forma voluntaria su frecuencia de vibrato en cualquier registro aunque unos cantantes tienen más facilidad que otros. Es posible que las diferencias anatómicas y fisiológicas individuales dispongan a un cantante a un vibrato más lento o más rápido y que esas diferencias influyan en el alcance o extensión de los ajustes que cada cantante sea capaz de realizar¹⁰.

Extensión

La extensión o modulación de la amplitud del vibrato es la distancia de incremento y descenso de la frecuencia de fonación durante un ciclo de vibrato (+/- 1 o 2 semitonos, o alrededor del 6% de oscilación). Una extensión superior se considera inaceptable. La extensión puede ser reducida o aumentada por el cantante. El tono² y la intensidad^{34, 35, 52, 62, 83} influyen en la magnitud de la extensión del vibrato pero hay una marcada variabilidad interindividuos. Shipp et al⁶⁰ observaron que todos los cantantes podían variar la extensión del vibrato sugiriendo un mecanismo de control de la extensión separado del mecanismo de frecuencia del vibrato, e hipotizaron que el vibrato producido por la actividad neuromuscular laríngea proporciona un control voluntario fundamentalmente en la extensión del vibrato.

Seidner et al⁵⁶ observaron que la intención de variar el vibrato en relación con su expresividad se basaba fundamentalmente en los cambios en la extensión del vibrato, incluso dentro de unos límites de intensidad musical dados. La existencia de diferencias significativas entre el vibrato normal y el menos expresivo, y la ausencia de diferencia estadística entre vibrato normal y el más expresivo supone que el vibrato normal y el artístico están próximos a su máxima extensión y ésta puede aumentarse con dificultad.

La extensión del vibrato también depende del nivel de presión sonora^{56, 63}. Se ha observado que tanto en varones como en mujeres la extensión del vibrato aumenta al producir un crescendo. Parece improbable que los cambios en la extensión del vibrato que ocurren con los cambios de intensidad sean el resultado de esfuerzos conscientes por parte de los cantantes. Parece más bien que este tipo de cambios sean el resultado de la interacción entre variables en un mecanismo de cambio.

Intensidad

La modulación de la amplitud o intensidad del vibrato no puede entenderse sin tener en cuenta la teoría acústica de la producción vocal. Las ondulaciones de la frecuencia fundamen-

tal producen una variación sincrónica de los armónicos en toda la amplitud del tono. La intensidad dependerá de si el mayor armónico es mayor o menor que la frecuencia del primer formante. La relación de fase entre vibrato de amplitud y vibrato de frecuencia depende de la relación de frecuencia entre el primer formante y el mayor armónico, así la variación de la frecuencia del vibrato es suficiente para producir variaciones en la intensidad. Asimismo la forma del tracto vocal condiciona las frecuencias de los formantes.

La amplitud o intensidad del vibrato no refleja los cambios en la intención del vibrato tan claramente como lo hace los cambios en la extensión del vibrato³⁷.

En algunos tipos de vibrato como en cantos populares parece que la principal correlación fisiológica del vibrato es con variaciones de la presión subglótica⁶⁸. En el vibrato clásico occidental también se observan pequeñas variaciones de la presión subglótica por las variaciones entre las fuerzas aductoras-abductoras de la glotis⁴⁵.

Fisiología del vibrato

La gran mayoría de los trabajos de investigación sobre el vibrato vocal se refieren a sus características acústicas. Comparativamente, hay poca información acerca de la fisiología y ésta se centra fundamentalmente en la actividad muscular. Los principales mecanismos de producción del vibrato vocal son indudablemente los cambios en la actividad de la musculatura fonatoria y los eventos aerodinámicos pero no está bien definido hasta qué punto intervienen. Las investigaciones son difíciles de realizar porque aunque no es difícil técnicamente, sí es arriesgado e incómodo, por ello la necesidad de encontrar métodos no invasivos para estudiar la fisiología vocal, especialmente si se hace en cantantes.

Desde el punto de vista fisiológico el vibrato Titze⁷⁴ describe el vibrato como un tipo de temblor fisiológico muscular que se estabiliza mediante fuerzas mecánicas: la frecuencia del oscilador laríngeo en condiciones fisiológicas es de 5Hz. El papel de la regulación y retrocontrol auditivo aún no está dilucidado.

El vibrato no necesariamente está determinado por los factores neurológicos y biomecánicos del individuo sino que puede ajustarse para mejorar su calidad estética. En algunos estudios se ha observado la habilidad de los cantantes para controlar la frecuencia y la extensión de las modulaciones de la frecuencia fundamental en el vibrato vocal. King & Horii²⁷, observaron una mayor habilidad del cantante para controlar la frecuencia del vibrato. Shipp et al⁶⁰ y Titze et al⁷⁶ sin embargo han observado una mayor capacidad de los cantantes para controlar su extensión. Titze et al⁷², mediante electromiografía observaron el efecto de la estimulación eléctrica artificial sobre los músculos laríngeos (cricotiroideo y tiroaritenideo) objetivando que podía entrenarse el mecanismo de oscilación muscular aunque de forma limitada, aproximadamente 0,5Hz más allá de la frecuencia natural.

Existen fundamentalmente dos teorías que intentan explicar el fenómeno del vibrato vocal. La primera consideraría que el vibrato corresponde a pulsaciones en las señales de control neural hacia los músculos laríngeos especialmente aquellos asociados al control de la frecuencia fundamental y al cierre de la glotis^{57, 66}. La segunda, relacionada con la primera, explicaría el

control fisiológico del vibrato vocal como combinación de los mecanismos laríngeo y respiratorio con predominio de la musculatura laríngea^{29, 30}. La actividad del músculo cricotiroideo juega un importante papel en la modulación del tono vocal mediante su contracción, produciendo un alargamiento y tensando las cuerdas vocales aumentando así el tono.

Estos hallazgos son consistentes con el modelo de vibrato vocal propuesto por Titze et al⁷⁶ en el que sugieren que la señal de modulación generada por un oscilador neural central puede interactuar con las propiedades biomecánicas de los músculos laríngeos. Según su hipótesis, retrasos en los circuitos de retroalimentación y sobrecorrección de la tensión pueden contribuir a las contracciones rítmicas del cricotiroideo.

Mecanismos neurales

El vibrato es un fenómeno acústico y vocal sumamente complejo y mal entendido en sus mecanismos centrales. Hirano et al¹⁶ destacan que la frecuencia del vibrato (4-7Hz/s) es aproximadamente la misma que la frecuencia de oscilación involuntaria de otros músculos esqueléticos o estriados (Parkinson, temblor esencial). En relación a la similitud entre el vibrato y otras oscilaciones involuntarias de los músculos esqueléticos, Metfessel³³ refiere que los temblores constantemente presentes en los músculos no son paralelos al vibrato porque son más rápidos y erráticos, y si fueran iguales al vibrato cabría esperar que todo el mundo tiene vibrato.

Según Shipp et al⁵⁷ el vibrato de frecuencia se genera por pulsaciones más bien innatas en las señales de control neural sobre los músculos debido a que el efecto enmascarador del auditorio y su feedback no afectaban a su frecuencia en su investigación, sin embargo se ha observado que los vocalistas pueden sincronizar su vibrato cuando cantan en dueto⁸.

Para Sundberg⁶⁶ la etiología de las pulsaciones neurales se desconoce, no obstante el temblor de la musculatura laríngea es similar al temblor o pulsación de otros músculos que ocurre tras una contracción larga y constante.

Comportamiento muscular

Estudios electromiográficos indican que la principal musculatura responsable de la modulación de frecuencia corresponde al músculo cricotiroideo cuya pulsación tiene la misma frecuencia que el vibrato^{16, 28, 32, 38, 57, 58, 80, 84}.

Los músculos cricoaritenoides y tiroaritenoides o vocalis también participan^{18, 69, 71} pero no siempre. El músculo cricotiroideo es abductor y estos otros músculos son aductores, necesarios para mantener las cuerdas vocales en la posición adecuada. Otro aspecto importante es que el músculo cricotiroideo adelgaza el borde de las cuerdas vocales y un incremento simultáneo en el músculo tiroaritenoides es necesario para minimizar cambios en el grosor del borde de la cuerda vocal y consecuentemente el declive del sonido a nivel glótico durante la fonación del vibrato. El músculo interaritenoides está activo durante la producción de vibrato pero se considera que no participa significativamente en el control de la frecuencia, intensidad o calidad de la voz. Algunos músculos laríngeos extrínsecos, incluidos los músculos esternotiroideo y esternohioideo, oscilan sincrónicamente con el vibrato. Por el momento no se puede determinar si estos músculos aumentan o disminuyen la F_0 o tienen otra acción. Los músculos respiratorios no presen-

tan oscilaciones en su actividad durante el vibrato. Perelló⁴⁰ afirma sin embargo que el vibrato está provocado por la contracción de todos los músculos del órgano fonador, incluidos los músculos respiratorios.

Appelman et al¹, observaron mediante electromiografía una coordinación de la acción de la musculatura abdominal con el desplazamiento diafragmático sugiriendo que el vibrato vocal está directamente relacionado con la sensación de soporte que se produce por pequeñas alteraciones de presión que se reflejan en una pequeña alteración de la columna de aire. Esta variación en la P subglótica hace variar la frecuencia fundamental mientras el cantante mantiene constante la masa, longitud, tensión y elasticidad de las cuerdas vocales.

Hartlieb¹⁴ y Troup⁷⁷ propusieron que el vibrato es una modulación de la frecuencia y amplitud resultado de un movimiento pendular de la musculatura laríngea intrínseca y la musculatura respiratoria que previenen la fatiga muscular a nivel laríngeo, alternando en un ciclo de actividad y reposo.

En el vibrato puede hipotetizarse que la modulación de la tensión muscular que subyace en la modulación de la frecuencia es más rápida cuando el nivel de tensión general es mayor, como puede ser en el registro de cabeza¹⁰. Esto sería similar a un movimiento de extremidades más rápido cuando los músculos están rígidos o tensos^{13, 26, 39}. En el registro de pecho las cuerdas vocales están más cortas y menos tensas que en los registros medios y de cabeza por lo que la relación entre la frecuencia y la extensión de la variación de la frecuencia fundamental puede ser muy distinta porque el músculo y la dinámica de la cuerda vocal no son iguales²¹. Además, si una disminución en la tensión muscular causara un enlentecimiento en la frecuencia del vibrato sería de esperar un descenso en el tono, sin embargo, la capacidad de disminuir la frecuencia del vibrato manteniendo el tono sugiere que hay otros mecanismos interviniendo aparte de la reducción de la tensión en los que los ajustes respiratorios pueden jugar un papel importante¹⁰.

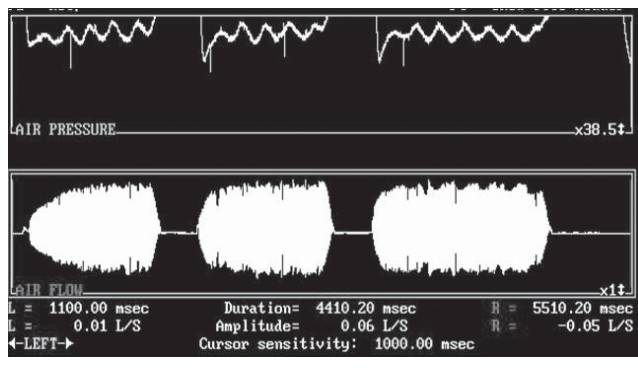
En los estudios electroglotográficos llevados a cabo por Ondrakova y Selkin¹⁶ se describen movimientos sincrónicos del velo del paladar, lengua, pared faríngea y mandíbula. Perelló⁴⁰ refiere ligeras sacudidas de todo el vestíbulo laríngeo durante el vibrato, que incluso mueven hacia atrás la epiglotis. Hirano et al¹⁶ han observado que algunas zonas del tracto vocal oscilan sincrónicamente con el vibrato, especialmente el velo, la base de la lengua, la epiglotis y la pared faríngea lateral próxima a la laringe. Consideran que su participación en la modulación de la frecuencia fundamental es pequeña o despreciable, pero parecen ser importantes para evitar la tirantez o rigidez del ajuste del tracto vocal. Opinan que una oscilación excesiva del tracto vocal causa frecuentemente un vibrato desfavorable y que un buen vibrato parece asociarse a un adecuado tamaño de los espacios supraglótico e hipofaríngeo.

No se considera sin embargo la electroglotografía una técnica lo suficientemente sensible para medir este fenómeno laríngeo, o al menos el componente laríngeo del vibrato ya que en no hay suficiente evidencia de diferencias en la onda electroglotográfica en el canto con y sin vibrato (Hicks y Teas 1987).

Aerodinámica

En 1925 Schilling⁵¹ especuló que el vibrato vocal dependía principalmente de la presión de aire subglótica. En 1968

Figura 5. Oscilaciones de la presión subglótica y del flujo fonatorio durante la emisión de un vibrato



Zemlin⁸⁴ sugirió que las fluctuaciones en la P subglótica pueden influir en el vibrato de intensidad. Large e Iwata²⁹ registraron oscilaciones sincrónicas del flujo aéreo con el vibrato de intensidad.

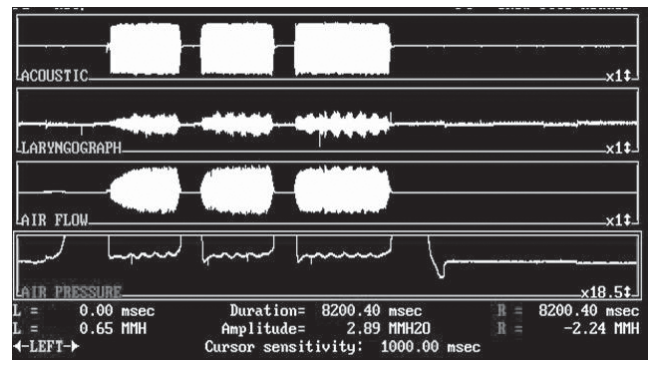
Mason y Zemlin³², Faaborg-Andersen¹¹, Katsuki²⁵ y Rubin⁴⁸ describieron la coexistencia de una modulación de la P subglótica y/o del flujo aéreo con la misma frecuencia que la modulación de frecuencia.

Rothenberg et al⁴⁵ investigaron las influencias aerodinámicas en la producción del vibrato. Compararon propiedades aerodinámicas asociadas a grandes diferencias en las frecuencias del vibrato y sugirieron diferentes formas de excitación neural para distintos grupos musculares reclutados para producir vibrato de amplitud. Coincidían en que el vibrato de frecuencia era probablemente la principal característica de un vibrato típico pero debía haber una serie de factores fisiológicos que producían una variación en la amplitud acústica sincrónica con el vibrato que podría ser percibida como una oscilación en la sonoridad. Sundberg⁶⁷ observó que el flujo aéreo tiende a variar en sincronía con el vibrato, consecuencia esperada de las pulsaciones en la regulación muscular de la aducción glótica. Hirano et al¹⁶ refieren que durante el vibrato se producen oscilaciones en el flujo aéreo, presumiblemente por modulaciones en la resistencia glótica debido a las oscilaciones de los músculos laríngeos, pero no debido a modulaciones en la presión pulmonar.

La modulación de la P subglótica y/o del flujo aéreo puede ser un resultado pasivo de la modulación de la resistencia glotal ocasionada por la pulsación cricotiroidea. De todas formas no puede rechazarse una participación activa en la modulación de la P subglótica.

Distintas investigaciones indican que el flujo aéreo durante la fonación tiene una estrecha relación con la frecuencia fundamental y los niveles de intensidad^{17, 23, 31, 48, 79}. Como ha demostrado Titze⁷³ en sus trabajos, el flujo aéreo medios en los tonos con vibrato es aproximadamente un 10% superior que en los tonos sin vibrato producidos con una misma frecuencia y nivel de intensidad, indicando que los tonos sin vibrato se asocian a una resistencia glótica media superior que los tonos con vibrato. Esta pulsación de la P subglótica podría ser generada por músculos espiratorios de respuesta rápida como los intercostales internos²⁷. (Figuras 5 y 6)

Figura 6. Registro simultáneo de la señal acústica, del electroglotograma, del flujo fonatorio y de la presión subglótica durante la voz cantada con vibrato.



La magnitud de las fluctuaciones del flujo aéreo en el vibrato aumenta desde el registro de pecho al de cabeza. La menor magnitud de la fluctuación aérea en el registro de pecho probablemente se deba a una mayor resistencia glotal, y la mayor magnitud de las fluctuaciones del flujo aéreo en los registros medios y de cabeza se relacione directamente con las fluctuaciones de amplitud del vibrato y probablemente con las fluctuaciones de la P subglótica como función de la intensidad^{24, 29}, sugiriendo un aumento del esfuerzo pulmonar en los registros altos. Este esfuerzo puede ser necesario para mantener la fonación a medida que las cuerdas vocales se tensan en estos registros. Estos hallazgos concuerdan con los de Titze⁷⁵ que ha demostrado que el umbral de presión de la fonación aumenta con la frecuencia fundamental.

Sin duda alguna serán los estudios que valoren de manera simultánea los distintos parámetros acústicos, aerodinámicos, pletismográficos, electromiográficos y anatómicos durante el cano con vibrato, los que permitan determinar de manera certera las bases fisiológicas de este interesante fenómeno y ornamento de la voz cantada.

Bibliografía

1. Appelman R, Smith E. Cinefluoroscopic and electromyographic observations of abdominal muscular function in its support of vibrato. Science Session III: Vocal ornamentation: Vibrato and prosody. In: Lawrence VL, ed. Transcripts of the fourteenth symposium: Care of the professional voice, part I (Scientific). New York: The Voice Foundation, 1985:79-82k.
2. Bennet G. Singing synthesis in electronic music. In Research Aspects of Singing. Stockholm: Royal Swedish Academy of Music. Publ No 33; 1981.
3. Björklund A. Analysis of soprano voices. J Acoust Soc Am 1961;33:575-582.
4. Callaghan J. Singing and voice science. San Diego: Singular Publishing Group; 2000.
5. Cobeta I. La voz cantada. En: Gargia-Tapia R, Cobeta I. Diagnóstico y tratamiento de los trastornos de la voz. Madrid: Editorial Garsi;1996. P. 357-365.
6. D'Alessandro C, Castellengo M. Etude, par la synthèse, de la perception du vibrato vocal dans les transitions de notes. Bulletin d'Audiophonologie. Ann Sc Univ Franche-Comté 1991;7:5&6:551-564

7. Damsté H, Reinders A, Tempelaars S. Why should voices quiver?. In *Vox Humana*, studies presented at Aatto Sonninen. Institute of Finnish Language & Communication. University of Jyväskylä; 1982.
8. Dejonckere P, Miller R, Wieneke G. Vibrato in duet singers. Proceedings CoMeT congress. Cairo; 1990.
9. Dejonckere P. En: Dejonckere P, Hirano M, Sundberg J, eds. *Vibrato*. San Diego: Singular Publishing Group; 1995. P. 1-8.
10. Dromey Ch, Carter N, Hopkin A. Vibrato rate adjustment. *J Voice* 2003;17 (2):168-178.
11. Faaborg-Andersen K. Electromyographic investigation of the laryngeal muscles at different pitch. *Acta Otolaryngol [Suppl]* (Stockh) 1957; 13.
12. García M. *Traité complet de l'art du chant*. 3^a ed. Paris:Heugel et Cie. 1911.
13. Gracco VL. Some organizational characteristics of speech movement control. *J Speech Hear Res* 1994;37:4-27.
14. Hartlieb K. Schädigungen der äusseren Kehlkopfmuskeln als Ursachen für Störungen der Sängerstimme. *Folia Phoniatri* 1953;5:146-166.
15. Hicks D, Teas E. An electroglottographic study of vocal vibrato. *J Voice*, 1987;1(2):142-147.
16. Hirano M, Hibi S, Hagino S. Physiological aspects of vibrato. En: Dejonckere PH, Hirano M, Sundberg, eds. *Vibrato*. San Diego: Singular Publishing Group; 1995. p. 9-33.
17. Hirano M, Ohala J, Vennard W. The function of laryngeal muscles in regulating fundamental frequency and intensity of phonation. *J Speech Res* 1969;12:616-628.
18. Hirano M. Vocal mechanisms in singing: laryngological and phoniatric aspects. *J Voice* 1988;2:51-69.
19. Horii Y, Hata K. A note on phase relationships between frequency and amplitude modulations in vocal vibrato. *Folia Phoniatri* 1988;40:303-311.
20. Horii Y. Acoustic analysis of vocal vibrato: a theoretical interpretation of data. *J Voice* 1989;3(1):36-43.
21. Hsiao T, Solomon N, Luschei E, Titze IR. Modulation of fundamental frequency by laryngeal muscles during vibrato. *J Voice* 1994;8(3):224-229.
22. Imazumi S, Saida H, Shimura Y, Hirose H. Harmonic analysis of the singing voice: Acoustic characteristics of vibrato. In: SMAC 1993 Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference. Friberg, Iwarsson, Jansson and Sundberg, eds. Royal Swedish Academy of Music, n°79. 197-200.
23. Isshiki N. Regulatory mechanism of voice intensity variation. *J Speech Res* 1964;7:17-29.
24. Isshiki N. Vocal intensity and air flow rate. *Folia Phoniatri* 1965;17:92-104.
25. Katsuki M. The function of the phonatory muscles. *Jpn J Physiol* 1950;1:29-36.
26. Kelso J, Vatikiotis-Bateson E, Saltzman EL, Kay B. A qualitative dynamic analysis of reiterant speech production: Phase portraits, kinematics, and dynamic modeling. *J Acoust Soc Am* 1985;77:266-280.
27. King JB, Horii Y. Vocal matching of frequency modulation in synthesized vowels. *J Voice* 1993;17(2):151-159.
28. Ladefoged P. Respiration, laryngeal activity and linguistics. In: Wyke B, ed. *Ventilatory and phonatory control systems*. New York: Oxford University Press; 1975:299-314.
29. Large J, Iwata S. Aerodynamic study of vibrato and voluntary "straight tone" pairs in singing. *Folia Phoniatri* 1971;23: 50-65.
30. Large J. An air flow study of vocal vibrato. In: Lawrence V, ed. *Transcripts of the eighth symposium on care of the professional voice*. New York: The Voice Foundation part I; 1979: 39-45.
31. Luchsinger R. Schalldruck und geschwindigkeitsregistrierung der Atemluft beim Singen. *Folia Phoniatri* 1951;3:25-51.
32. Mason RM, Zemlin WR. The phenomenon of vocal vibrato. *NATS Bull* 1966;22:12-7.
33. Metfessel M. The vibrato in artistic voices. En: Seashore C, ed. *The Vibrato*. Iowa City, Iowa: University of Iowa Press; 1932.
34. Michel JF, Myers RD. The effects of crescendo on vocal vibrato. *J Voice* 1991;5(4):292-298.
35. Michel J, Grashel J. Vocal vibrato as a function of frequency and intensity. In: Lawrence V, ed. *Transcripts of the ninth symposium on care of the professional voice.. Part I*. New York: The Voice Foundation; 1980: 105-10.
36. Miller R. *The structure of singing*. New York: Schirmer Books Ed.; 1986.
37. Nawka T, Seidner W, Cebulla M. Experiments on intentionally influencing the singer's vibrato. In: SMAC 1993 Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference. Friberg, Iwarsson, Jansson and Sundberg, eds. Royal Swedish Academy of Music, n°79: 221-227.
38. Niimi S, Horiguchi S, Kobayashi N. The physiological role of the sternothyroid muscle in phonation. An electromyographic observation. *Ann Bull RILP University of Tokyo* 1988;22:165-172.
39. Ostry D, Keller E, Parush A. Similarities in the control of the speech articulators and the limbs: Kinematics of tongue dorsum movement in speech. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1983;9:622-636.
40. Perelló J, Caballé M, Guitart E, eds. *Canto-Dicción*. Barcelona: Ed. Científico-Médica. 1982.
41. Pommez J. Étude acoustique du vibrato de la voix chantée. *Rev Laryng* 1962;83:249-264.
42. Prame E. Measurements of the vibrato rate of ten singers. En: Dejonckere PH, Hirano M, Sundberg, eds. *Vibrato*. San Diego: Singular Publishing Group; 1995. p. 121-139.
43. Reid CL. *Bel Canto. Principles and practices*. New York: The Joseph Patelson Music House, 1978.
44. Reinders A. The history of vibrato in the singing voice. En: Dejonckere PH, Hirano M, Sundberg, eds. *Vibrato*. San Diego: Singular Publishing Group; 1995. p. 141-144.
45. Rothenberg H, Miller D, Molitor R. Aerodynamic investigation of sources of vibrato. *Folia Phoniatri* 1988; 40:244-60.
46. Rothman HB, Arroyo AA. Acoustic variability in vibrato and its perceptual significance. *J Voice* 1987;1(2):123-141.
47. Rubin H. Experimental studies on vocal pitch and intensity in phonation. *Laryngoscope* 1963;73:93.
48. Rubin H, Le Cover M, Vennard W. Vocal intensity, subglottic pressure and airflow relationships in singers. *Folia Phoniatri* 1967;19:393-413.
49. Ruhlman C. Science session III. In: Lawrence V, ed. *Transcripts of the thirteenth symposium on care of the professional voice*. New York: The Voice Foundation, 1984:118-22.
50. Sapir S, Larson KK. Supralaryngeal muscle activity during sustained vibrato in four sopranos: surface EMG findings. *J Voice* 1993;7:213-218.
51. Schilling R. Untersuchungen über die Atembewegungen beim Sprechen und Singen. *Mschr Ohrenheilk* 1925;59:51-56.
52. Schultz-Coulon H, Battmer R. Die quantitative Bewertung des Sängervibratos. *Fol Phoniatri* 1981;33:1-14.
53. Schutte HK, Miller DG. Acoustic details of vibrato cycle in tenor high notes. *J Voice* 1991;5:217-223.
54. Seashore CE. *The vibrato*. Iowa City, Iowa: University of Iowa Press, 1932.
55. Seashore CE. *Psychology of music*. 1938 new printing 1967. New York: Dover publications.
56. Seidner W, Nawka T, Cebulla M. Dependence of the vibrato on pitch, musical intensity, and vowel in different voice classes. En: Dejonckere PH, Hirano M, Sundberg, eds. *Vibrato*. San Diego: Singular Publishing Group; 1995. p. 63-82.
57. Shipp T, Doherty ET, Haglund S. Physiologic factors in vocal vibrato production. *J Voice* 1990;4:300-304.
58. Shipp T, Leanderson R, Haglund S. Contribution of the cricothyroid muscle to vocal vibrato. In: Lawrence V, Weinberg, eds. *Transcripts*

- of the eleventh symposium on care of the professional voice. New York: The Voice Foundation, 1982.
59. Shipp T, Leanderson R, Sundberg J. Some acoustic characteristics of vocal vibrato. *J Res Singing* 1980; IV(1):18-25.
 60. Shipp T, Leanderson R, Sundberg J. Vocal vibrato/rate and extent vibrato as a function of vowel, effort and frequency: In: Lawrence V, ed. *Transcripts of the eighth symposium on care of the professional voice*. New York: The Voice Foundation part I;1979: 46-50.
 61. Shipp T, Sundberg J, Haglund S. A model of frequency vibrato. In: Lawrence V, ed. *Transcripts of the thirteenth symposium on care of the professional voice*. New York: The Voice Foundation;1984: 116-7.
 62. Sjöström L. Experimentell-phonetische Untersuchungen des Vibratophänomens der Singstimme. *Acta oto-lar* 67, 123-130.
 63. Sundberg J, Leanderson R, von Euler C. Activity relationship between diaphragm and cricothyroid muscles. *J Voice* 1989;3(3):225-232.
 64. Sundberg J. Acoustic and psychoacoustic aspects of vocal vibrato. En: Dejonkere PH, Hirano M, Sundberg, eds. *Vibrato*. San Diego: Singular Publishing Group; 1995. p. 35-62
 65. Sundberg J, Thörnvik MN, Söderström AM. Age and voice quality in professional singers. *Log Phon Vocol* 1998;23:169-176
 66. Sundberg J. *The science of musical sounds*. San Diego: Academic Press, Inc;1991.
 67. Sundberg J. *The Human Voice*. En Greger E, Windhorst, eds. *Comprehensive Human Physiology*, vol 1. Berlin: Springer-Verlag; 1996. p. 1095-1104.
 68. Sundberg J. *The science of the singing voice*. Northern Illinois University Press;1987.
 69. Tanaka S, Tanabe M. Experimental study of regulation of vocal pitch. *J Voice* 1989;3:93-98.
 70. Ternström S. *Acoustical aspects of choir singing*. Stockholm: Royal Institute of Technology;1989.
 71. Titze IR, Luschei E, Hirano M. Role of the thyroarytenoid muscle in regulation of fundamental frequency. *J Voice* 1989;3(3):213-224.
 72. Titze IR, Solomon NP, Luschei ES, Hirano M. Interferente between normal vibrato and artificial stimulation of laryngeal muscles at near-vibrato rates. *J Voice* 1994;8:215-223.
 73. Titze IR. On the relation between subglottic pressure and fundamental frequency in phonation. *J Acoust Soc Am* 1989;85:901-906.
 74. Titze IR. *Principles of voice production*. Prentice Hall Ede. New Jersey: Englewood Cliffs; 1994.
 75. Titze IR. Phonation threshold pressure: a missing link in glottal aerodynamics. *J Acoust Soc Am* 1992;91:2926-2935.
 76. Titze IR, Story B, Smith M, Long R. A reflex resonance model of vocal vibrato. *J Acoust Soc Am* 2002;111(5)Pt1:2272-82.
 77. Troup G. "The Physics of the Singing Voice" *J Res Singing* 1982;6(6):21.
 78. Van den Berg J. Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. *J Speech Hear Res* 1958;1:227-244.
 79. Van den Berg J. Direct and indirect determination of the mean subglottic pressure. *Folia Phoniat* 1956;8:1-24.
 80. Vennard W, Hirano M, Ohala J. Laryngeal synergy in singing. *The NATS Bulletin* 1970;27:16-21.
 81. Vennard W. *Singing: The mechanism and the technic*. 2nd ed. New York: Fisher; 1967.
 82. Winckel F. Acoustical cues in the voice for detecting laryngeal diseases and individual behavior. In: Wyke, ed. *Ventilatory and Phonatory Control Systems*. London: Oxford University Press; 1974.
 83. Winckel F. *Physikalische kriterien für objektive stimmbeurteilung*. *Fol Phoniatr* 1953;5 separatum:231-252.
 84. Zemlin WR. *Speech and hearing science*. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice Hall, 1968.