

Teorías de producción de la voz

Fundamentos anatómicos, fisiológicos y biomecánicos de la voz

Laura Martín Bielsa / Susana Pozo García /
Raúl Fernández Peñarroya



tech

CONTENIDO

1. Objetivos

Objetivos generales.
Objetivos específicos.

2. Repaso histórico

3. Teoría mioelástica primitiva (ewald, 1898)

Resumiendo.

4. Teoría neuro-cronóxica (husson, 1950)

5. Teoría impulsional

6. Teoría ondulatoria y teoría aerodinámica- mioelástica

7. Teoría neurooscilatoria

8. Teoría oscilo impiedial

9. Modelos de masa-resorte

10. Bibliografía

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- **OG.1.** Conocer los aspectos anatómicos y funcionales específicos del sistema fonador como base para la rehabilitación de patologías vocales y para el trabajo vocal con profesionales de la voz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **M1.8.** Estudiar las diferentes teorías que han dado respuesta a cómo se produce la voz.

El objetivo principal de este tema es hacer un recorrido histórico desde las primeras teorías explicativas del proceso fonatorio hasta las teorías más actuales y aceptadas por la mayoría de autores.

REPASO HISTÓRICO

El ser humano siempre ha querido investigar e indagar para explicar el funcionamiento del cuerpo humano. De la misma manera desde la antigüedad el órgano vocal ha sido estudiado intentando explicar su funcionamiento estableciendo comparaciones con instrumentos musicales.

Pueden verse las diferentes aportaciones al estudio de la producción de la voz^{1,2}:

- Siglo II a.C., Galeno comparó el órgano vocal con una flauta cuyo cuerpo constituiría la tráquea. Desde este momento la investigación sobre el conocimiento de la fonación no ha cesado hasta nuestros días.
- En el Renacimiento, Fabrice d'Aquapendente estudia las bases fisiológicas y la capacidad de la laringe para producir no solo la voz y el habla, sino además la maravillosa potencialidad y expresividad de la voz cantada. Mantiene que no es imprescindible la reunión de dos cuerpos sólidos para producir un sonido, los cuerpos blandos también lo producen al paso de un flujo aéreo. Considera el aire como la materia que genera el sonido y le da forma. Para él el sonido es una alteración en el estado del aire. Es el primero que reconoce la existencia de cuatro cartílagos que constituyen la laringe y señala que los aritenoides son dos piezas independientes que sirven de punto de apoyo a otras partes a las que dotan de movilidad.

Atribuye nombre al cartílago cricoides. Elabora una descripción completa sobre los músculos internos de la laringe atribuyéndoles la función de abrir y cerrar la glotis. Considera que la laringe funciona como un tubo de órgano, pero más perfecto, puesto que puede modificar sus dimensiones y contribuir así a la formación de tonos.

- 1613-1688, Claude Perrault presenta ideas sobre la producción del sonido y de la voz, muy parecidas a la realidad que se conoce hoy. Considera la voz como un ruido producido por la salida violenta del aire en su paso hacia el exterior. Explica la generación de los distintos tonos de la voz por las variaciones en longitud y tensión de los pliegues vocales.
- 1634-1707, Denis Dodart alumno de Perrault continuó los estudios de su maestro. Aporta que la materia de la voz es el aire contenido en los pulmones, empujado de abajo a arriba por la acción muscular torácica. Considera que la resonancia se produce como una continuación del sonido producido por la laringe, cuerpo sonante, y establece que tanto los cuerpos sonantes como resonantes suenan y resuenan según su dimensión, dependiendo de ella las características del tono. Describe también el ligamento vocal al que califica de estructura indispensable para la regulación de la tensión del pliegue vocal. Determina como hecho fundamenta que los pliegues vocales se alargan a medida que aumenta la frecuencia y que cuanto más se alargan más se aproximan sus bordes.
- 1741, Ferrein experimenta con cadáveres y observa que en la laringe existen unas estructuras comparables a las cuerdas de un violín que vibran por la acción del aire pulmonar. También demuestra que modificando la tensión de estas "cuerdas vocales" se obtienen sonidos más o menos agudos.
- A comienzos del siglo XIX, Henri Dutrochet y Françoise Magendie en sus obras, señalan la gran importancia del músculo tiroaritenoides en la modificación del tono. También experimentan sobre los cambios que se producen con la sección de los nervios laríngeos, concluyendo que el cierre de la glotis depende del nervio laríngeo superior y la apertura de la glotis depende del nervio laríngeo inferior.
- 1814, Liskovius demuestra que el movimiento de la cuerda vocal es sobre todo horizontal.
- 1825, Savart y Loothen se interesan por el ventrículo que, según ellos posee una función predominante. Fenómenos de remolino en el ventrículo originarían la voz. Savart concluyó que los repliegues vocales regulan el flujo aéreo y que éste entra en los ventrículos en su ascenso hacia afuera.
- 1831 Malgaigne publica sus conceptos sobre la producción vocal, en los cuales destacan las valoraciones que hace sobre la anatomía funcional de la laringe, considerando al músculo de la cuerda vocal como el más importante en lo que se refiere a la producción de la voz, pues es el único que responde a la voluntad.
- 1837, Müller da un gran impulso a la fisiología de

la generación de la voz humana que ha permitido establecer las teorías de la fonación vigentes hoy en día, en concreto la teoría mioelástica. García Tapia recogió los puntos más importantes que Müller aportó:

- Las cuerdas vocales aducidas vibran al paso del aire, produciendo el sonido denominado voz.
- La ausencia de la preparación anatómica de la epiglotis y bandas ventriculares reduce el volumen del sonido emitido.
- El tono asciende cuando aumenta la tensión de las cuerdas vocales.
- Cuando la tensión de las cuerdas es mantenida, un aumento de la presión del aire significa un ascenso del tono equivalente a una quinta.
- Valora las diferencias existentes entre el registro de pecho y el de falsete.

A pesar de que sus estudios se basaban en estudios científicos, su teoría no fue admitida en ese momento.

- 1983, Helmholtz explicó mediante su teoría que la fonación es el producto de la presión de aire que pasa por la glotis.
- 1893, Lenox Brown afirma: *"La voz humana, a pesar de la acción fundamenta e inicial que juegan los ligamentos vocales, no es en su totalidad comparable a un instrumento de membrana, tubo de órgano, de lengüeta o cuerda. La voz humana es tan superior a todos los instrumentos realizados por la mano del hombre que toda tentativa por definir su naturaleza será necesariamente incompleta"*.
- 1898, Ewald describe la teoría mioelástica.
- 1950, Husson expone la teoría neurocronámica.
- A partir de 1953, numerosos autores (Perelló, Vallancien, Smith y Van der Berg, Cornut y Lafon, etc.) se oponen a la teoría anterior, surgiendo una teoría mioelástica renovada, denominada teoría mucoondulatoria (Perelló, 1962), teoría mioelástica perfeccionada (Vallancien, 1963) o teoría impulsional (Cornut y Lafon, 1960).
- 1968, Mac-Leod y Sylvestre exponen la teoría neurooscilatoria.
- 1974, Hirano analiza la incidencia de la estructura del pliegue vocal en cuanto a la producción fonatoria y diferencia el musculo vocal, que constituye el cuerpo del pliegue vocal, y la mucosa, que forma la cubierta.
- 1981, Dejonckère, basándose en los conceptos de Hirano, describe la teoría osciloimpedancial de la vibración de los pliegues vocales.

TEORÍA MIOELÁSTICA PRIMITIVA (EWALD, 1898)

Esta teoría se caracteriza por dos conceptos fundamentales:

1. La vibración de las cuerdas vocales se considera pasiva.
2. Las características del sonido emitido dependen exclusivamente de la presión infraglotica y de la tensión de los pliegues vocales.

Según esta teoría, con el incremento de la presión subglótica se produce una separación de los pliegues vocales. Esta separación tiene una duración muy breve pero permite un pequeño escape de aire que genera una disminución de la presión subglótica. Al disminuir la presión subglótica, los pliegues vocales vuelven a juntarse haciendo que se incremente de nuevo la presión subglótica y comience un nuevo ciclo (Figura 1).

RESUMIENDO

1. Las cuerdas vocales se juntan por acciones musculares que modifican la posición de los aritenoides.
2. la velocidad de aire transglótico aumenta por efecto de la disminución del tamaño (área) de la glotis.
3. La Presión Infraglótica disminuye y las cuerdas vocales se vuelven a juntar por el efecto Bernoulli.
4. La glotis se cierra.
5. Aumenta la Presión Subglótica.

Pero esta teoría fue criticada por diversos autores. Husson, autor de otra teoría de la fonación que se verá a continuación, subrayó que mediante esta teoría era imposible explicar cómo podía conseguirse variar la intensidad de un sonido sin modificar al mismo tiempo su altura. Por ejemplo: sería físicamente imposible, según esta teoría, la emisión de un sonido prolongado en una nota/altura determinada cuya intensidad va decreciendo hasta desaparecer. Sin embargo, las posibilidades de la laringe humana permiten una independencia entre parámetros de intensidad y altura modificando la masa de las cuerdas vocales, gracias a la existencia de barorreceptores en el espacio subglótico, los cuales son sensibles a las variación de presión subglótica, modificando/regulando de forma refleja la presión. Es decir, solo la existencia de cambios en la masa de las CV durante su vibración puede responder a esta cuestión.

Otra crítica surgió de la mano de Grémy, el cual puntualizó aspectos referentes a la cantidad de energía necesaria para la producción de un sonido.

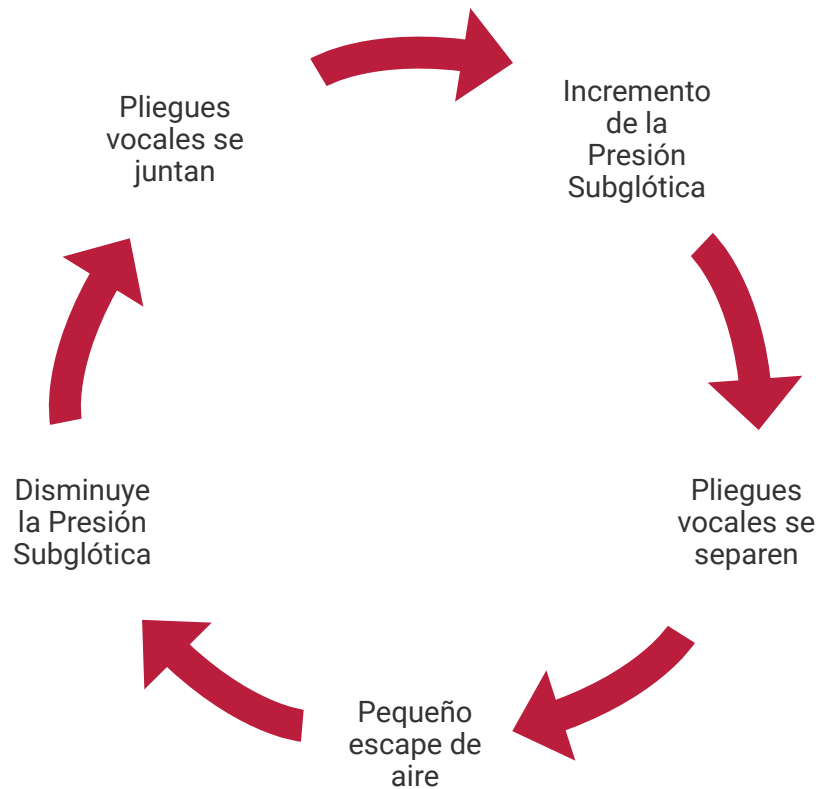


Figura 1. Teoría mioelástica primitiva (ewald, 1898).

Este autor demostró que la energía generada del escape de aire por la glotis no justifica la energía sonora producida. Y así, la energía proporcionada por la ventilación pulmonar sería insuficiente por sí sola para proporcionar la energía sonora que se produce.

TEORÍA NEURO-CRONÁXICA (HUSSON, 1950)

Esta teoría concede una importancia excepcional al sistema nervioso como agente productor de la voz y se basa en la creencia de que el producto sonoro de la laringe es consecuencia de la contracción rítmica de las fibras del músculo tiroaritenoides, controladas, dichas contracciones, por impulsos nerviosos centrales a través del nervio recurrente, las cuales serían las condicionantes de la Frecuencia Fundamental (F_0) y por tanto de la altura del sonido.

Esta teoría fue rechazada por diversos motivos³:

- El músculo tiroaritenoides no tiene función abductora.
- La voz presenta F_0 superiores a la tasa de impulsos que los nervios recurrentes son capaces de transmitir.
- Las cuerdas vocales de una laringe cadavérica son capaces de producir voz al aplicarles flujo aéreo subglótico.
- Las cuerdas vocales paralizadas, de manera uni o bilateral, son capaces de producir sonido vocal.

Es importante también añadir que esta teoría no concede ninguna función a la mucosa de los pliegues vocales.

TEORÍA IMPULSIONAL

Postulada por Cornut y Lafon en 1960, los cuales llegaron a la conclusión de que el funcionamiento laríngeo se explica a partir de tres elementos:

1. La fuerza de oclusión glótica.
2. La presión subglótica o infraglotica.
3. La fuerza de retroceso debido al efecto Bernoulli.

Hacen hincapié también en que el funcionamiento laríngeo debe plantearse como impulsional y no como frecuencial, explicando que los pliegues vocales no vibran igual que los brazos de un diapasón¹. La laringe, cuyo funcionamiento se manifiesta por una alternancia de oclusiones y de aperturas, puede compararse con un oscilador por relajación que produce impulsos rítmicamente¹.

TEORIA MUCOONDULATORIA Y TEORÍA AERODINÁMICA-MIOELÁSTICA

Estas teorías surgieron de los esfuerzos dedicados para interpretar y explicar los diferentes procesos fisiológicos involucrados en la emisión/producción de la voz. Describen la fonación considerando la morfología de las estructuras que forman el sistema fonatorio, sus relaciones y sus modificaciones físicas.

Combinan principios físicos de la mecánica, la aerodinámica y la acústica los cuales permiten explicar las transformaciones que se producen en el aparato fonador desde la espiración hasta la proyección de la onda sonora en su salida por los labios.

Estudian detalladamente el movimiento oscilatorio de las cuerdas vocales, el flujo de aire transglótico, la distribución de presiones a lo largo de la vía aérea, la transmisión acústica en el tracto vocal y la emisión de la voz al medio circundante.

Proponen dos principios básicos³:

- Sugieren que la F_0 viene determinada por tres factores: la masa de las cuerdas, su viscoelasticidad y la presión subglótica.
- Las cuerdas vocales vibran por una serie de fuerzas que se explican por el principio de Bernoulli.

Le Huche y Allali,

“El Principio o Ley de Bernoulli es un fenómeno que se produce en la física de los fluidos. Cuando se hace circular un fluido, por un tubo de diámetro variable, se aprecia que la velocidad del flujo en las zonas donde el diámetro del tubo es mayor disminuye, lo que es muy comprensible; ahora bien, es menos evidente que aparezca una disminución de la presión en las zonas del tubo que poseen un diámetro más reducido, donde la velocidad es consecuentemente más elevada”.

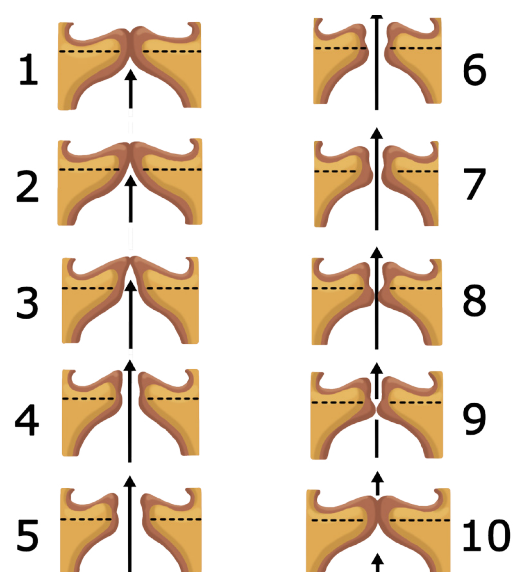
Varios autores han realizado aportaciones importantes a estas teorías, entre ellos están: Van den Berg en varias ocasiones 1953, 1957, 1958 y 1974; Smith en 1954 y 1965; Lafon en 1958; Perelló en 1962 y 1966; Vallancien en 1972; Hirano en 1970 y 1974, y Wyke en 1974 y 1976.

Perelló en 1962 postuló la teoría microondulatoria, la cual, aunque con ciertos matices, sigue estando admitida. Señaló la importancia que tiene en la fonación la mucosa de la laringe, al contrario que la teoría neurocronaxica de Husson. Subraya que lo que se denomina vibración de los pliegues vocales parece en realidad (tras observación estroboscópica) una ondulación de abajo a arriba de la mucosa y de las partes blandas que recubren los pliegues vocales debida a la gran laxitud de la mucosa laríngea. Durante la fonación, esta ondulación se dirige de la infraglotis hasta la supraglotis. Se ha demostrado que la oclusión de la glotis comienza en la parte inferior de esta antes de extenderse a la parte superior. Detalla también aspectos como¹:

- La mucosa laríngea tiene gran laxitud.
- La sequedad en la mucosa de los pliegues vocales puede producir disfonía.
- Una discreta inflamación de los pliegues vocales produce una importante alteración vocal (Figura 2), (Figura 3).

Van den Berg exploró y describió la interacción entre la elasticidad del tejido cordal y las fuerzas aerodinámicas⁴ del siguiente modo:

1. Las cuerdas vocales van hacia la línea media gracias a la tensión mecánica prefonatoria de los músculos intrínsecos que variará en función del tipo de emisión que se vaya a producir.



Mecanismo de producción del ciclo vocal (Arosen, 1980).

Figura 2. Teoría mucoondulatoria y teoría aerodinámica-mioelástica.

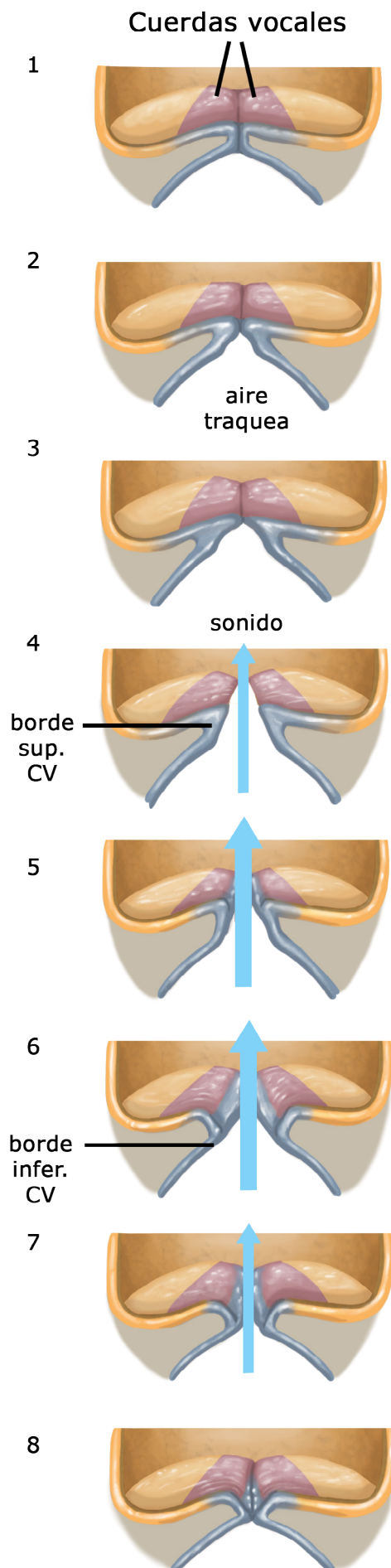


Figura 3. Teoría mucocondulatoria y teoría aerodinámica-mioelástica.

2. El flujo aéreo que pasa por la tráquea se bloquea por el cierre de la glotis y por lo tanto se incrementa la presión subglótica.
3. La vibración cordal comienza cuando la presión subglótica sobrepasa la resistencia del cierre glótico (umbral de presión de fonación) y parte del aire escapa o fluye hacia la región supraglótica.
4. Debido al escape de aire entre las cuerdas, la presión subglótica disminuye y éstas vuelven a juntarse como efecto del retroceso elástico por el efecto bernoulli.
5. El cierre de la glotis genera de nuevo un incremento de la presión subglótica y de nuevo comienzan a repetirse los fenómenos anteriores generando un ciclo de vibración cordal sostenido que genera la voz. (Figura 4).

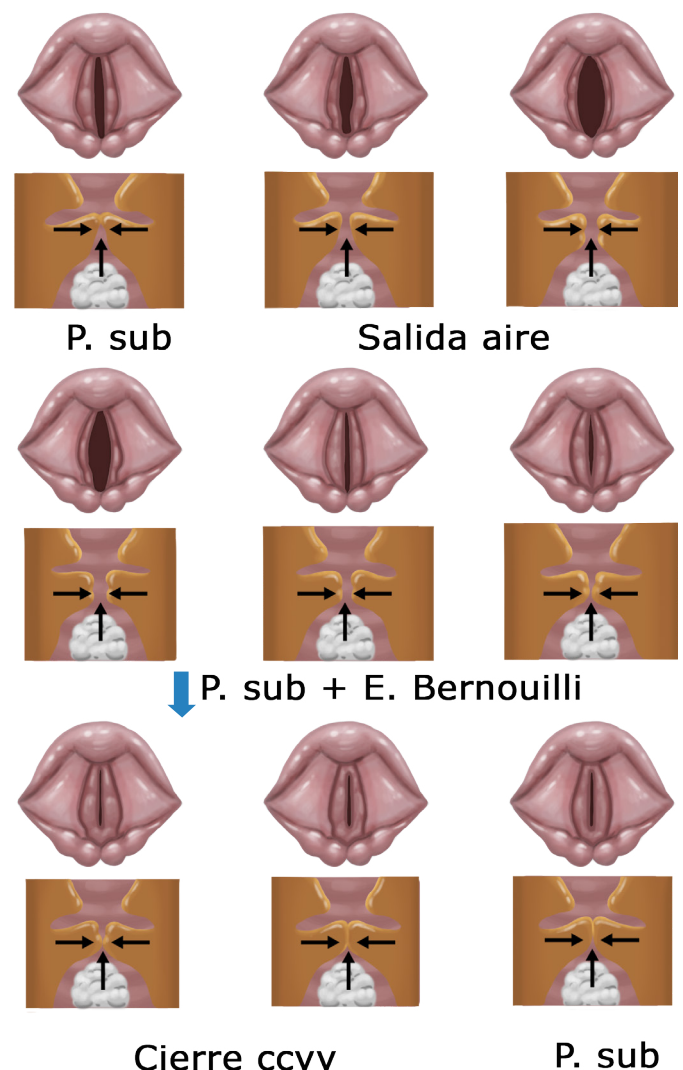


Figura 4. Ciclo vocal según Schönhärl. Sacado de: Guía Clínica para el especialista en laringe y voz. Farias, 2016. Editorial Akadia. Buenos Aires, Argentina.

Hirano en 1975 también realizó aportaciones de interés a esta teoría. Entre sus aportaciones destacan¹:

- El músculo cricotiroides tiende a alargar las cuerdas vocales cuando está activo, haciendo que estas se aproximen a la línea media. Con esta acción, la lámina propia del borde libre de las cuerdas vocales se vuelve más fina, y la cubierta y el cuerpo se vuelven más rígidos. Esto produce un cambio en el patrón ondulatorio del ciclo glótico o vocal.
- El músculo inter-aritenoides no modifica cuerpo y cobertura de las cuerdas vocales ni por tanto el patrón ondulatorio.
- El cricoaritenoides posterior se encarga de separar, alargar y elevar las cuerdas vocales. Con su acción se produce un adelgazamiento del borde libre.

TEORÍA NEUROOSCILATORIA

Esta teoría fue postulada por Mac-Léod y Sylvestre en 1968 y afirma que la vibración de las cuerdas vocales es un fenómeno que depende directamente de la actividad del músculo vocal, igual que la teoría de Husson. Compara la actividad del músculo vocal con músculo que produce el movimiento de las alas de los insectos asincrónicos. La actividad de estos músculos sería una respuesta a estímulos nerviosos, por tanto, el movimiento vibratorio de las cuerdas vocales tiene un componente activo.

Se fundamenta en el concepto de la arquitectura del músculo vocal y en que la teoría de Husson conserva la idea de que la laringe es una sirena de activación periódica, en la cual la mucosa laríngea no cumple ninguna función importante¹.

TEORÍA OSCILO IMPEDIAL

Descrita por Dejonckère en 1981, completa, en cierta medida, las teorías de Ewald y Cornut-Lafon, afirmando que la laringe es un oscilador con amortiguación reducida¹.

Recupera también la diferenciación de la estructura de las capas de las cuerdas vocales de Hirano (cuerpo y cubierta), añadiendo que estas dos estructuras (cuerpo y cubierta) no tienen las mismas características mecánicas¹.

Dejonckère propuso¹:

*Presión infraglótica-presión supraglótica
= débito transglótico x impedancia
glótica*

Añadiendo también que la impedancia glótica depende de:

- La frecuencia y la amplitud oscilatoria de los bordes libres de las cuerdas vocales.
- La longitud de la parte vibrante de la glotis.
- La orientación del eje de oscilación del borde libre de cada cuerda vocal.
- La duración de la fase de adhesión de las cuerdas vocales.

Demostró, mediante electromiografía, que puede haber vibración fonatoria sin que se registre ningún potencial de acción en el músculo vocal en movimiento. Esta experiencia prueba que el borde libre de las CV puede, en ciertas condiciones, efectuar movimientos vibratorios puramente pasivos bajo la acción del aire espirado. También, mediante experimentación con electroglotografía y medida de la presión subglótica, pudo precisar la relación de fase entre la presión subglótica y el estiramiento de las CV.

La fuente de energía de los movimientos cordales en fonación sostenida residiría en una fluctuación periódica de la presión subglótica con la misma frecuencia que la fundamental del sonido emitido. Esta fuerza periódica, para una voz normal, estaría desplazada con relación al estiramiento de las CV de manera óptima desde el punto de vista energético.

Demostró también que las propiedades mecánicas del sistema vibratorio laríngeo semeja las de un oscilador armónico muy poco amortiguado que transforma la fuerza espiratoria de salida continua y uniforme en una onda de presión pulsada. La velocidad de escape del aire y el desplazamiento de la columna de aire por la tráquea se ajustarían para producir un desfase adecuado.

Habló también sobre el inicio de los sonidos, aportando que en ataque duro vocal, el repentino desequilibrio entre la presión subglótica y la tensión de aducción de las CV desencadenaría el movimiento del oscilador fonatorio. Por el contrario, en el ataque suave y soplado, el aire espiratorio pasa por el desfiladero glótico antes de comenzar el movimiento periódico y las CV no contactan hasta la entrada en vibración.

MODELOS DE MASA-RESORTE⁴

Se trata de aproximaciones que simulan el comportamiento de las cuerdas vocales, considerando éstas como pequeñas masas conectadas entre sí mediante resortes y elementos amortiguadores.

Están descritos 3 modelos diferentes: el modelo de una masa, descrito por Flanagan & Landgraf en 1968; el modelo de dos masas, descrito por Ishizaka & Flanagan en 1972; y el modelo de tres masas descrito por Story & Titze en 1995.

En resumen, lo que postula cada modelo es:

- **Modelo de una masa:** consta de una masa, un resorte y un amortiguador. El movimiento permitido de las cuerdas es solo en dirección horizontal.
- **Modelo de dos masas:** es el modelo más usado ya que tiene en cuenta el desplazamiento de abajo a arriba que se produce en las cuerdas vocales.

No considera el “cuerpo” de la cuerda, solamente la cubierta. Este modelo tiene en cuenta la deformación que sufren ambas cuerdas tras su contacto en la zona media, pero no tiene en cuenta la influencia de lo que ocurre a nivel infra y supraglótico en la vibración cordal.

- **Modelo de tres masas:** en este se distingue cuerpo y cubierta de las cuerdas vocales y se asume que el comportamiento mecánico diferente de cada una de estas estructuras. Explica el mantenimiento de la oscilación a través de la asimetría del ciclo de apertura y cierre de la glotis sumándolo a los cambios de presión en los diferentes espacios delimitados por la glotis (supra e infraglótico).

“Se ha demostrado que la biomecánica de las cuerdas vocales (masa, resortes, amortiguación), es responsable en forma directa de la distribución espectral”⁴.

Para profundizar en la explicación teórica de dichos modelos revisar: Farias, 2016.

BIBLIOGRAFÍA

1. Le Huche F y Allali A. La Voz. Tomo 1. Anatomía y Fisiología de los Órganos de la Voz y del Habla. Masson.
2. <http://www.otorrinoweb.com/2964.html>.
3. Cobeta I, Núñez F y Fernández S. Patología de la Voz. Ponencia Oficial Sociedad Española de Otorrinolaringología y Patología Cérvico-Facial. SEORL PCF. 2013.
4. Farias P. Guía clínica para el Especialista en Laringe y Voz. Akadia Editorial. Buenos Aires, Argentina. 2016.