

Voz cantada

MI Uzcanga Lacabe*, S Fernández González, M Marqués Girbau**, L Sarrasqueta, R. García-Tapia Urrutia***

* *Unidad de ORL. Hospital de Navarra. Pamplona*

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

Correspondencia:

Secundino Fernández. Laboratorio de Voz. Departamento ORL.

Clínica Universitaria. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra.

Apdo. 4209. 31080 Pamplona

(sfgonzalez@unav.es)

Resumen

La voz cantada es la expresión artística a través de la voz y constituye el más hermoso y sutil medio de comunicación que posee el hombre. En la voz cantada participan todos los elementos de la voz (elemento efector, elemento articulador, elemento vibrador, elemento resonador, elemento regulador) de un modo en que la interrelación entre ellos tiene la máxima precisión y coordinación.

Se analizan los distintos componentes fisiológicos: acústicos y aerodinámicos de la voz cantada; los diferentes mecanismos de producción vocal y los principales aspectos del canto, como son los diferentes registros (pecho, medio, cabeza, sobreagudo), los *passagi*, la *mesa de voce*, el control de la frecuencia, etc.

Palabras clave: Voz cantada, canto, soprano, registro.

Summary

The singing voice is the form of artistic expression through the voice which is the subtlest and most beautiful means of communication that the human being possesses. In the singing voice, all the elements of the voice participate (effector element, articulatory element, vibrating element, resonating element, regulating element) in such a way that the interrelation between them has the greatest precision and coordination. The various physiological components are analyzed: acoustics and aerodynamics of the singing voice; different mechanisms of vocal production and main aspects of song such as different registers (chest, middle, head), *passagi*, *mesa de voce*, frequency control, and so on.

Kew words: Singing voice, soprano, register.

El estado actual del conocimiento de la fisiología de la voz cantada, cuyo estudio comenzó hace tiempo, siendo el relato de Manuel García y su descubrimiento de la laringoscopia el episodio más emocionante, gravita sobre aspectos de la física del sonido, es decir, sus características acústicas y los mecanismos que producen el sonido, es decir, los aspectos aerodinámicos. El estudio de la voz cantada pretende descubrir por un lado cómo se produce el sonido y por el otro por cómo y con qué resultado se modula este sonido, siendo conscientes de la interrelación que se produce dentro del órgano vocal entre los dos fenómenos. "Todo profesor de canto debe conocer la fisiología de la voz". Estas palabras de Manuel García ilustran que desde 1855 el conocimiento de la función laríngea es de gran interés para el desarrollo del cantante en su profesión³. En la ciencia de la otorrinolaringología es necesario profundizar en la investigación de dos grandes campos. Por un lado el estudio del oído, que es elemental ya que es donde toda la percepción de la música comienza. Por otro lado el estudio de la laringe y, más concretamente la fisiología de la fonación, podría ayudarnos a comprender cómo se emite un sonido o nota por el cantante y los mecanismos por los que su modulación producen el canto. La correcta utilización de estos mecanismos se hace

necesaria para que la voz resulte afinada y con la intensidad y ritmos adecuados dentro de la estética pensada por los artistas y para que éstos se beneficien de las medidas higiénicas y cuidados aconsejados por los científicos. Estos dos órganos, oído y laringe, que son esenciales para la interrelación entre los seres humanos, condicionan, si se encuentran alterados, gran parte de los motivos de la consulta diaria de los pacientes que acuden al otorrinolaringólogo. En la persona de Manuel Patricio García hallamos el un claro exponente de la unión entre arte y ciencia, entre el canto y la investigación sobre la fisiología de la fonación durante el canto. El prestigioso barítono Manuel García, después de interpretar numerosos papeles operísticos en Europa: la Opera de París y de Milán entre otras, fue junto a su padre y su hermana María Malibrán, el primero en interpretar a Mozart y a Rossini en la Opera de Nueva York. Trabajó como profesor de Canto en el Conservatorio de París y posteriormente en la Real Academia de Música de Londres. En el contexto de sus estudios creó la técnica que posibilita la visualización de las cuerdas vocales tanto en reposo como en fonación: la laringoscopia³. En el estudio de la voz de una persona que dedica su órgano fonatorio a la emisión de sonidos con unas características tan exigentes como ocurre en el canto, la

laringoscopia es el primer paso: ausencia de patología orgánica visible e identificable ya sea con enfermedades concretas, con irritantes o con mala utilización de su voz.

La voz cantada se analiza, además de la exploración con la laringoscopia, examinando el resultado final de la emisión de sonido mediante el estudio aerodinámico detallando FO, los formantes, la relación armónico/ruído incluso jitter y shimmer. El resultado de emisión vocal del órgano fonatorio, el sonido vocal que percibimos, está formado por FO y más los armónicos que se modulan a través del tracto vocal y mediante los articuladores. Las características de esta señal vienen dadas por su frecuencia fundamental (FO), su intensidad y su timbre. La regulación de los mecanismos de producción de la voz depende de los sistemas nerviosos central y periférico que actúa sobre los distintos elementos del órgano de la fonación.

El tono o frecuencia fundamental (FO) es regulado a nivel glótico con los cambios de longitud, masa y elasticidad que experimentan los distintos planos de la cuerda vocal ante la acción muscular y que determinan las variaciones de FO. El acortamiento de la cuerda vocal produce un sonido más grave al disminuir la tensión y aumentar la masa de la superficie vibrátil por lo que disminuirá FO. La elongación de la cuerda vocal produce un sonido más agudo, por tensar la cuerda vocal y disminuir la masa y la superficie de contacto. Esto se consigue predominantemente por la acción del músculo cricotiroides. Si el músculo cricotiroides (CT) está contraído y el músculo tiroaritenoides (TA) está relajado, la longitud de la cuerdas vocales está aumentada y su rigidez está globalmente aumentada en todas las capas. Inversamente si el TA está contraído y el CT desactivado, la rigidez de la masa muscular aumenta y FO aumenta aunque la longitud de la cuerda vocal esté disminuida. Hay un control diferencial de la FO por estos dos músculos que reciben una inervación motora diferente. El tracto vocal modifica la frecuencia de los formantes sobre todo en la región de las frecuencias altas. Una posición baja de la laringe en la vocalización de los cantantes se relaciona con emisión de frecuencias altas.

Si deseamos llegar realmente al origen de la producción de la voz y saber cómo trabajan los diferentes componentes del órgano fonatorio centraremos nuestro esfuerzo en el estudio aerodinámico de la voz. La determinación del flujo transglótico, el pico de la presión subglótica y de la resistencia laríngea durante la emisión del sonido nos hará comprender cómo utiliza el artista su respiración y su fuente de voz en el canto. El efecto de la presión subglótica en el control de la FO no se puede obviar⁴. Uno de los primeros y más importantes de los trabajos que relacionan la presión subglótica y el control vocal es el realizado por Isshiki (1964)⁵. También contribuyeron Rubin et al.⁶ y Faaborg-Andersen en 1967⁷. Más recientemente se pueden encontrar los estudios sobre la presión subglótica realizados por Griffin (1995)⁸, Cleveland (1997)⁹ e Iwarsson (1998)⁴. Isshiki (1964) estudió la presión subglótica, el flujo y la presión sonora en una cantante a medida que aumentaba la intensidad de la voz de 65 a 95 dB, manteniendo la frecuencia fundamental constante a 98 Hz⁵. Un aumento de 0,1 Pa (1 cm H₂O) de presión, se corresponde con el aumento de varios hercios en la FO¹⁰. Un error de FO en 5% se detecta fácilmente desde el punto de vista acústico. Para una frecuencia FO= 110Hz que equivale a la nota A2 o Fa2, una presión de 1,1 kPa en lugar de

1,0 kPa conllevará un error de tono FO sustancial². Lo que es más, para mantener un tono mientras se produce un crescendo (primera mitad de la "messa di voce"), el cantante necesita disminuir la activación de los músculos laringeos que regulan FO de manera simultánea al aumento de presión subglótica¹¹. El efecto de la presión subglótica en FO explica probablemente porqué los cantantes de 2ª no pueden cantar notas altas *piano*, su musculatura laríngea no está entrenada lo suficiente como para producir la tensión en las cuerdas vocales que se necesita para emitir un sonido en frecuencias agudas a intensidad baja.

En la voz hablada, el rango de la FO es estrecho, inferior a una octava, mientras que en el canto varía considerablemente como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Rangos frecuenciales de cuatro tipos de voz en cantantes líricos

	Límite inferior	Límite superior
Bajo	Mi2, E2, 80 Hz	Mi4, E4, 330 Hz
Tenor	Do3, C3, 123 Hz	Do5, C5, 520 Hz
Alto	Fa3, F3, 175 Hz	Fa5, F5, 700 Hz
Soprano	Do4, C4, 260Hz	Mi6, E6, 1300 Hz

El control de la intensidad presenta como factor más importante la presión subglótica. La presión subglótica depende de la presión pulmonar. Existe una relación casi lineal entre la presión pulmonar y traqueal y la intensidad del sonido, de manera que si se aumenta la presión subglótica, y el resto de elementos permanecen sin cambios, la frecuencia aumenta de manera proporcional a la presión. Este hecho ha llevado a algunos investigadores a proponer una nueva teoría para explicar la actividad de las cuerdas vocales. Se propone, como mecanismo para compensar la elevación de la frecuencia, el aumento de la fuerza de adducción de las cuerdas aumentando así el tiempo de contacto entre las cuerdas. El aumento del tiempo de contacto es un factor que se opone al aumento de la frecuencia y que permite la transformación en aumento de la intensidad vocal. Tanto en el hombre como en la mujer el aumento de la intensidad se correlaciona con la disminución del tiempo durante el cual las cuerdas vocales permanecen abiertas. Titze y Sundberg (1992) comprobaron la relación existente entre la presión subglótica y la intensidad para cantantes y no cantantes y que la intensidad vocal era mayor para los cantantes que para los no cantantes para una misma presión subglótica. Estos autores proponen que el incremento en la intensidad conseguido por los cantantes para el mismo aumento de presión subglótica se debe a un mayor flujo glótico como consecuencia de la técnica desarrollada por el cantante¹². Existen un conjunto de fenómenos fisiológicos que acompañan a la configuración glótica. Cuanto más corta sea la fase abierta del ciclo glótico, más rápida es la interrupción y mayor la intensidad. Se consigue mediante el control de la amplitud de la vibración, combinando la regulación de la presión subglótica, de la geometría

glótica, de la fuerza de adducción de las cuerdas vocales y de la geometría del tracto vocal en su conjunto.

En una comunicación distendida, los fenómenos de tensión muscular son mínimos. En la voz proyectada se necesita mayor tensión muscular para producir una voz más fuerte y más eficaz. En realidad, hay un aumento de la tensión a todos los niveles del organismo. Se ha demostrado que todos los músculos, incluso los posturales aumentan el grado de tensión.

La regulación de la tercera característica de la voz, el timbre, se produce sobre todo a nivel el tracto vocal. El timbre de la voz es la característica que permite diferenciar dos sonidos que poseen la misma frecuencia e intensidad y sin embargo somos capaces de percibirlos como distintos en calidad. El tracto vocal modifica el timbre mediante la variación de sus dimensiones, y la configuración laríngea. El timbre depende de los formantes del tracto vocal que son regulados por las dimensiones variables del tracto vocal y por la configuración y las variaciones a nivel laríngeo. A nivel glótico, los ajustes de frecuencia influirán también sobre el timbre. De manera similar los cambios en la presión subglótica y los ajustes en la intensidad pueden influir sobre el timbre.

El control de los mecanismos de la voz son realizados por el sistema neurológico. La inervación sensitiva de la laringe, mediante el nervio laríngeo superior, se encarga de la sensibilidad del vestibulo laríngeo y de la "margelle". Existen receptores mucosos sensibles al contacto (mecanorreceptores) que desencadenan el reflejo tusígeno. Se encuentran sobre todo a nivel vestibular. Hay mecanorreceptores articulares e intramusculares en los músculos intrínsecos y extrínsecos de varios tipos (corpúsculos, husos neuromusculares, espirales) que envían una señal propioceptiva de tensión y de estiramiento presentes a nivel de las cuerdas. Estos receptores situados sobre todo a nivel de las cuerdas envían la señal a través del nervio recurrente. Las fibras penetran en el bulbo con el nervio vago y se dirigen hacia el núcleo del fascículo solitario donde acaban ciertas fibras que han partido de la laringe. El resto de las fibras siguen su camino hacia el núcleo redondo atravesando el tronco cerebral. Desde el núcleo redondo las deutoneuronas alcanzan el lemnisco medio (lazo de Reil) y se proyectan en el núcleo ventral del tálamo. Desde el núcleo del fascículo solitario existen proyecciones talámicas y numerosas proyecciones en el núcleo ambiguo. La zona cerebral motriz de la faringolarínge se encuentra en el gyrus precentralis (circunvolución frontal ascendente) de los dos hemisferios. Si se estimula esta zona se observa una respuesta laríngea global con vocalización, inhibición del músculo cricoaritanoideo posterior y activación de uno o varios aductores de forma bilateral (las lesiones cerebrales a ese nivel no producen inmovilidad unitateral). Existen numerosas conexiones cerebrales, sobre todo con los centros del lenguaje. En particular hay que resaltar las vías asociativas entre las regiones motoras faringolaríngeas y las áreas auditivas corticales y subcorticales.

Los ajustes articulatorios en el proceso de la fonación aparecen en dos niveles: el ajuste prefonatorio y la emisión sonora. El ajuste prefonatorio es independiente del control audífonatorio. Así en la voz cantada es posible emitir un sonido que desde el primer momento se corresponda con la altura y a la intensidad deseada. Este control prefonatorio de origen cortical depende de las informaciones sobre el estado de la tensión y la posición

de los diferentes músculos y articulaciones. Cuando la fonación está instaurada, estas informaciones permiten los ajustes instantáneos necesarios para el mantenimiento de una configuración glótica determinada. Hay otros arcos reflejos de origen abdominal, torácico, cervical, lingual, que contribuyen probablemente a los ajustes permanentes que actúan por retroalimentación sobre la laringe en el curso de la fonación.

La rapidez del flujo de la palabra y la precisión de los puntos de articulación necesita ajustes muy rápidos y muy finos, estos puntos de articulación pueden estar muy cerca los unos de los otros. Este grado de constricción, define a su vez el tipo de paso de aire: laminar o turbulento. Las variaciones de la distancia entre la lengua y el paladar, del orden de milímetros, permiten producir sonidos tan distintos como una vocal, una consonante velada o incluso una consonante oclusiva. Las adaptaciones están aseguradas con los arcos reflejos rápidos que reposan en la sensibilidad táctil y propioceptiva de la lengua, el paladar y los labios.

El control audífonatorio de la voz posee un componente voluntario y otro involuntario. Seguramente existen órdenes inducidas voluntariamente por las vías corticobulbares en respuesta a las informaciones acústicas que llegan hasta el córtex auditivo de la misma forma que un conjunto de reflejos acusticolaríngeos. Este control se ejerce de forma sinérgica mediante el control propioceptivo que permite la anticipación prefonatoria, lo que posibilita al cantante emitir desde el inicio una nota a la altura deseada sin el control auditivo¹³.

Debemos incidir en que la fonación nos diferencia de los animales no sólo con la capacidad cerebral del habla sino también las estructuras anatómicas exclusivamente humanas, en lo que se denominado "el uso inteligente de las vías respiratorias bajas". El habla conversacional es el tipo de fonación habitual en la vida diaria del ser humano. En hombres el mecanismo de fonación es el tipo I (MI), y si desea intensificar la emisión del sonido utiliza la regulación a nivel de la presión subglótica sobre todo y en parte la adducción de las cuerdas vocales en la línea media. En algún caso utiliza el vocal fry o voz rota, sobre todo al final de las frases, donde el flujo aéreo es mayor. Existen variaciones idiomáticas, donde se combinan sonidos vocálicos y no vocálicos, y en algún idioma el hombre cambia el tipo de voz a mecanismo tipo II (MII) y este cambio de timbre da el significado a la palabra. En el caso de la mujer, el tipo de fonación predominante es MII.

El habla emocional es el habla enfática donde el control cortical de las eferencias se ve modulado por las conexiones límbicas subcorticales. El tipo de fonación suele ser el tipo I para el hombre y el tipo II para las mujeres, pero como el control está modificado puede pasar involuntariamente de un registro a otro y existir cortes en la voz.

Se pueden considerar la risa y el llanto como las expresiones más extremas de las emociones del aparato fonatorio. El control neurológico no está claramente establecido. Hay una desinhibición del control superior que deja "libertad" al aparato fonatorio.

Los actores de teatro utilizan la voz para la declamación con una articulación muy exagerada, el recitativo, y una intensidad de sonido elevada para lograr inteligibilidad para el público. Es necesaria una técnica vocal adecuada para que el esfuerzo no produzca lesiones y para que la voz no "decaiga" a lo

largo de la representación. El mecanismo de voz es tipo I para el hombre y tipo II para la mujer.

La diferencia básica entre la voz hablada y la voz cantada, reside en que en la primera se realiza una emisión de fonemas y en la última se realiza una emisión de tonos. En el canto se añade el ritmo a los distintos parámetros de la voz como son el tono, la intensidad y el timbre. De la misma manera, las modulaciones de los parámetros son finas y ajustadas a la emisión deseada. Está claro que la musicalidad reside en el cerebro y que sumada a una técnica del canto adecuada es la clave para el cantante.

Existen dos tipos de cantantes, uno el cantante puramente instrumental, que eleva la belleza del sonido, que consigue el equilibrio vocal y que representa el virtuosismo de la voz y otro el cantante de declamación musicalmente acentuada, que obtiene el lenguaje elevado a música. "La fusión entre ambos debería ser la meta de todo cantante desde el punto de vista artístico como fisiológico vocal"¹⁴.

Antes de mediados del siglo XIX los profesores de canto todavía no utilizaban el término registro y hablaban de *voce do petto* y *voce di testa* sin preocuparse por las implicaciones mecánicas de estos términos¹⁵.

La definición de Manuel García de registro vocal de 1894 sigue en vigor: "Un registro vocal es una serie de sonidos homogéneos consecutivos producidos por un mecanismo que difieren esencialmente de otra serie de sonidos igualmente homogéneos producidos por un mecanismo diferente, cualquiera que sean las modificaciones del timbre y de la fuerza"³. Cada patrón de vibración presenta características frecuenciales y timbrales específicas, bien definidas y reconocibles desde el punto de vista auditivo y cada patrón de vibración se obtiene por mecanismos fonatorio distintos. Los diferentes registros cubren un rango de frecuencias concreto que, aunque exista una pequeña variación interpersonal, es posible agrupar las notas afectas. Los límites superiores e inferiores de estos registros se solapan con el siguiente y de esta manera hay notas que pueden ser cantadas con dos mecanismos distintos. Entre un registro y otro se perciben variaciones de timbre. Si el paso de un registro hacia el siguiente se consigue de forma progresiva y precisa, las pequeñas variaciones no se perciben. Si la transición se produce de forma brusca, el auditorio percibe una ruptura en la armonía musical¹⁶.

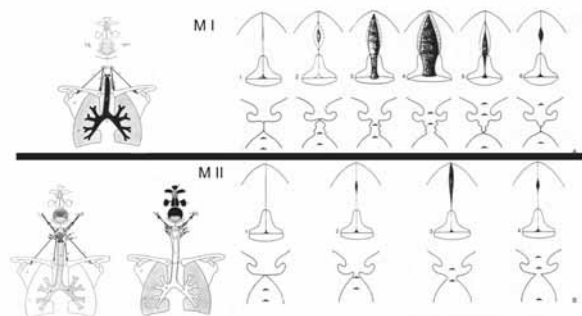
Desde el punto de vista didáctico, hay profesores de canto que niegan la existencia de registros, invitando a sus alumnos a ejercitar su extensión vocal "de manera natural". Realmente no demuestran estas escuelas que con un solo mecanismo vocal sus alumnos emitan toda la extensión de su voz, sino que no toman conciencia del problema porque realizan los ejercicios necesarios para solucionar el paso sin saber el objetivo buscado.

Reid (1990) reclama el estudio intenso y el manejo exacto de los registros extremos tanto en hombres como en mujeres, no sólo para ganar una octava en extensión de la voz sino para mejorar en agilidad, potencia y brillantez los registros de pecho y de cabeza. Este autor piensa que si no se trabaja la transición, el varón posee un rango vocal pobre, limitado al registro de pecho, y nunca canta notas por encima del paso superior y la mujer canta en Falsetto sin utilizar nunca el registro de pecho¹⁵.

Las escuelas que aceptan la existencia de registros tampoco son unánimes en cuanto al número de registro y su denominación.

Podemos encontrar variaciones respecto a la clasificación de los registros según las escuelas, aunque son constantes los registros de pecho y de cabeza. Con el primero se consiguen los sonidos graves-medios y con el segundo los medios-agudos. Los mecanismos descritos para cada registro son Mecanismo tipo I (MI) para la voz de pecho y mecanismo tipo II (MII) para la voz de cabeza. Existe un mecanismo tipo III para la voz de "Whistle". En la Figura 1 se observa cómo se corresponden los mecanismos de voz con los registros.

Figura 1. Representación de la equivalencia de los mecanismos de voz con los registros. En el mecanismo de voz tipo I (MI) la superficie de contacto entre ambas cuerdas vocales es amplia y se corresponde con el registro de pecho. En MII la superficie de contacto es menor y se corresponde con el registro de cabeza.



Según Emil Behnke, en "The Mechanism of the Human Voice", un registro es una serie de tonos que son producidos por el mismo mecanismo, y tanto para el hombre como para la mujer, hay tres registros: de pecho, medio y de cabeza. Para otros autores el hombre posee dos registros: el registro modal o normal y el registro Falsetto y la mujer presenta tres: el registro de pecho, el registro medio y el registro de cabeza. La denominación internacional para describir los tipos de voz hablada es: pulse, modal y Falsetto, siéndolo para la voz cantada: chest, head y Falsetto¹⁶. Este autor denomina registro a una serie de notas consecutivas para cuya emisión el cantante utiliza un mecanismo de producción de voz concreto. En general se acepta que existen el registro de pecho, el registro medio, el registro de cabeza y el registro "Whistle" o "Flute".

Desde el punto de vista científico, la fuente de voz humana puede actuar en diferentes modos de oscilación. Estos modos se llaman registros vocales. En la voz masculina existen tres registros¹⁷:

- Pulse o vocal fry
- Modal o de pecho
- Loft o Falsetto

Depende de la interacción entre las resonancias subglóticas y la vibración de las cuerdas vocales¹⁸. En pulse o vocal fry, las cuerdas vocales están espesas y laxas y la presión subglótica es

muy baja. Los pulsos de aire glótico aparecen en grupos de dos, tres, o más, o llegan uno por uno, aunque en intervalos largos de tiempo. Por lo tanto FO es baja, generalmente por debajo de 60 Hz para voces masculinas. Generalmente se fona en vocal fry al final de la frases respiradas, probablemente por una caída de la presión subglótica.

En el registro modal las cuerdas vocales están menos laxas y la presión subglótica es mayor que en vocal fry. Los pulsos de flujo aéreo glótico adyacentes aparecen a intervalos de tiempo bastante constantes y tienden a ocupar un 50 % o más del periodo. El registro modal es típico para el habla normal.

En Falsetto las cuerdas vocales están finas y estiradas, rara vez se cierra del todo la glotis. Por eso la fase abierta ocupa la mayoría o incluso todo el periodo

Todos estos registros se pueden usar en la comunicación oral. El más frecuentemente utilizado es el registro modal. El vocal fry ocurre típicamente cuando una frase acaba de forma neutra en la conversación mientras que el Falsetto se utiliza como expresión, énfasis extremo, sorpresa y en la risa. La mayoría de cantantes masculinos usan solamente el registro modal mientras que los contratenores (es decir los hombres adultos que cantan partes alto) cantan en el registro Falsetto/loft.

En las mujeres la situación está menos clara. Se acepta que existen tres registros:

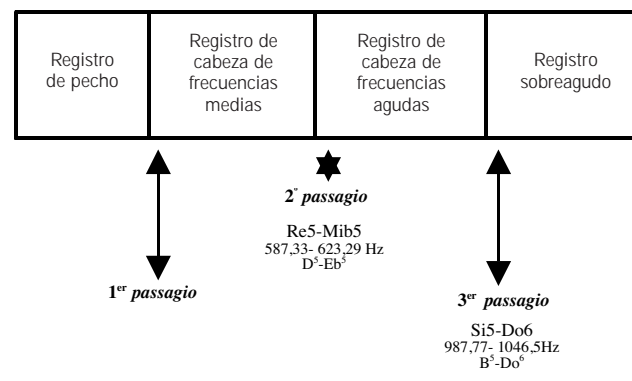
- Pecho equivalente a modal
- Medio equivalente a Falsetto
- Cabeza que no existe en los hombres²

La importancia de estudiar los registros reside en conocer qué mecanismos de voz son los adecuados para cada registro para que el canto de forma repetida e intensa como en una representación o en una gira de varios conciertos seguidos no suponga una sobrecarga excesiva para las cuerdas vocales del cantante. Asimismo en la voz cantada un cambio de registro a otro, también llamado passagio, supone el paso de un mecanismo de voz a otro y por lo tanto una ruptura en el continuo de la emisión de la voz cantada que debe ser evitado por los cantantes.

La clasificación de los registros para los cantantes está representada en la Tabla 2.

Almudena Ortega, Profesora de Canto, refiere que las sopranos localizan un passagio bajo entre Mi4 y Fa4 que separaría entre resonancia de pecho y de nariz y senos paranasales. Otro paso entre Mi5 y Fa5 que separaría entre voz de N y SPN

Figura 2. Passagi hallados según Uzcanga y Fernández. El 2ª passagio se identificó para los valores de presión subglótica y el 3º passagio para los valores de flujo transglótico.



y voz de cabeza. El último entre Si5 y Do6 que separaría el registro de cabeza del registro sobreagudo.

El passagio o pasaje es la zona de transición entre un registro y el consecutivo. Existen multiplicidad de descripciones sobre qué notas son las implicadas para cada tipo de voz. En principio es el lugar de la posible ruptura de la voz ya que se cambia de un mecanismo de voz a otro. Fisiológicamente, si el passagio es de notas más graves hacia notas más agudas, corresponde al cambio de preponderancia de acción de la musculatura adductora hacia la preponderancia de la musculatura tensora en coordinación con los elementos aerodinámicos. Si el passagio es hacia notas más graves será a la inversa. La explicación de cómo los cantantes consiguen un passagio en el que no se pueda percibir el cambio de mecanismo vocal no está clara desde el punto de vista fisiológico, pero parece lógico que la clave debe ser la habilidad en el control de los mecanismos neuromusculares y aerodinámicos descritos, previamente adquirida con el aprendizaje. Queda por demostrar en qué medida son utilizados cada uno de estos elementos.

En el laboratorio de voz de la Clínica Universitaria de Navarra hemos estudiado el canto de sopranos lírica y lírico-ligeras afin de investigar los mecanismos de voz para los diferentes registros y qué ocurre desde el punto de vista aerodinámico en los passagi. En la Figura 2 se representan los distintos registros estudiados y el 2º y 3º passagi encontrados para los valores de presión subglótica y para los valores de flujo transglótico respectivamente.

La proporcionalidad de la relación entre las variables flujo y presión, sufre un cambio brusco entre determinados rangos de la extensión vocal que se corresponden con los registros vocales: cabeza frecuencias medias, cabeza frecuencias agudas y sobreagudos, debiéndose esto a los diferentes mecanismos empleados para la emisión de los distintos rangos frecuenciales. Hemos podido caracterizar el sobreagudo con un mecanismo de voz propio que localiza el apoyo de la soprano en la musculatura intrínseca de la laringe.

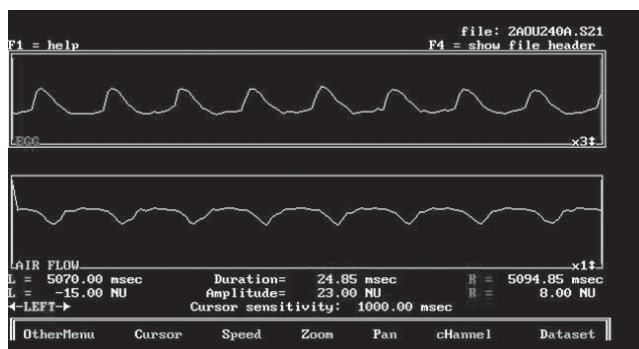
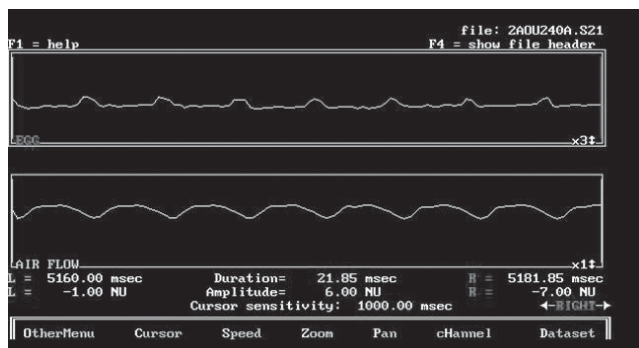
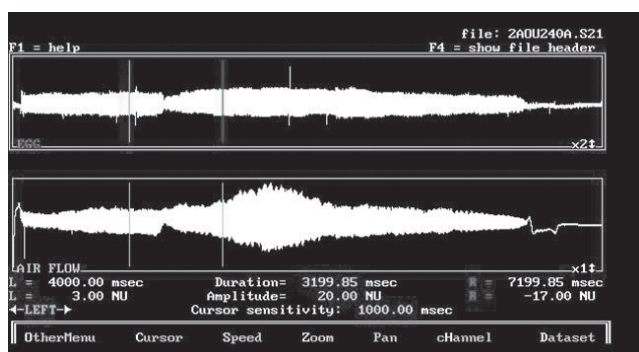
Tabla 2. Transiciones de registros en hombres y mujeres según R Baken

	Primer cambio de registro	Segundo cambio de registro	Tercer cambio de registro
Mujeres	Re4 - Fa4	Re5 - Mi5	Si5
	D4 - F4	D5 - E5	B5
	293,66-349,23 Hz	587,33-659,26 Hz	987,77 Hz
Hombres	Re3 - Fa3	Re4 - Fa4	Si4
	D3 - F3	D4 - F4	B4
	146,83-174,61 Hz	293,66-349,23 Hz	493,88 Hz

La electroglotografía registrada durante los ejercicios de canto permite medir la superficie de contacto entre las cuerdas vocales en cada ciclo vocal incluso permite determinar los cambios de registro.

En las Figuras 3a, 3b y 3c están representados los valores de flujo transglótico y del electroglotograma (EGG) del 2º *passagio* de una soprano lírica a la que se solicitó que cantara “exagerando” el cambio de registro. Se observa un cambio en el mecanis-

Figura 3. En la figura 3a se identifica el *passagio* en el EGG y en los valores de flujo transglótico representados en el tiempo para una escala cromática en una soprano lírica que ha “realizado” el *passagio*. Con mayor detalle y seleccionando el trazado, en la figura 3b, se representa un mecanismo de voz en el registro CM y en la figura 3c, en el registro CA y se observa la diferencia en la superficie de contacto entre las cuerdas vocales.



mo de producción de la voz, pasando de un contacto entre las cuerdas vocales más amplio a un contacto disminuido.

Cuando intentamos determinar algunas consideraciones sobre la peculiaridad de las sopranos observamos que dentro de los valores aerodinámicos el flujo transglótico cobra interés. Los valores del flujo transglótico medido en este estudio se asemejan a los obtenidos por otros autores que han estudiado la voz cantada (Granqvist et al., 2003). El valor medio de flujo obtenido para la voz cantada de sopranos es de 0,129 l/s con DS de 0,07 para tonos cantados en los ejercicios con una extensión desde el Do4 (C4; 261,63 Hz) hasta Fa6 (F6; 1396,91 Hz) que dentro del espectro de la soprano corresponde a notas medias, agudas y sobreagudas. Estos valores del flujo aéreo transglótico, 0,111 a 0,2 l/s, son parecidos a los obtenidos en la voz hablada normal¹⁹, lo que podría sorprender para la voz cantada en sopranos, pero que constatan otros autores como Granqvist (2003) que halla flujos aéreos desde 0,1 a 0,150 l/s en sopranos cantando notas a 220 y 340 Hz respectivamente. Sundberg presenta en 1987 valores de flujo aéreo de 0,1 a 0,6 l/s. En otros trabajos como en el de Lundy (2000) hallan entre las mujeres valores mayores de flujo aéreo en el canto que en el habla. Su muestra la componen estudiantes de canto y sugiere que el estudio con profesionales conllevaría probablemente valores parecidos a lo publicado por otros autores. La posible justificación de valores de flujo bajos reside en que la emisión de las notas agudas conlleva una ondulación de la mucosa de las cuerdas vocales rápida, al mismo tiempo que estas están muy tensas, y que por tanto en un corto período de tiempo permiten el paso del aire de forma muy limitada. De esa manera, si la frecuencia del ciclo es más rápida que en el mecanismo de voz tipo II, el flujo a través de esas cuerdas vocales tensadas al máximo es muy escaso y justificaría un mecanismo de voz tipo III.

Por otro lado, el hecho de que los tonos más altos muestren valores de flujo más bajos se debe posiblemente a que la longitud de las cuerdas vocales es diferente como sugiere Birch²⁰. Otros autores como Stathopoulos y Sapienza (1993) proponen que el flujo aéreo depende fundamentalmente de la válvula laríngea y también del tracto vocal y plantean que la resistencia supraglótica puede afectar a los valores obtenidos. Según el principio de interacción acústica, la inercia del flujo aéreo en el sistema respiratorio y el tracto vocal se puede utilizar para reducir el flujo aéreo y favorecer la calidad vocal. El condicionante del tracto vocal en el caso de la soprano permite, si coinciden FO con F1, elevar la radiación acústica sin aumentar el flujo transglótico, gracias a lo cual la cantante consigue mantener niveles acústicos adecuados sin derrochar flujo aéreo. Estos hallazgos coinciden con lo expuesto por Fant²¹.

Los resultados sobre el *passagio* o transición de un registro hacia el siguiente se deben evaluar sabiendo que existe habitualmente una variación entre los tipos de voz. Así, un tenor localizará su *passagio* en un tono o tono y medio más agudo que un bajo y, de la misma forma, una soprano situará la transición en notas más agudas que una mezzo. La muestra de este trabajo se basa en que las cantantes pertenecen al mismo tipo de voz, así que deberíamos encontrar un *passagio* con una mínima variación interpersonal.

La presencia de *passagi* a nivel de la segunda y tercera transición no ha podido ser demostrado desde el punto de vista

de la EGG en esta muestra de sopranos líricas. A nivel de la segunda transición hay diferencias entre los valores de la presión subglótica localizados entre Re5 y Mib5 y a nivel de la tercera transición hay diferencias entre los valores del flujo aéreo localizados entre Si5 y Do6. En el canto *mesa di voce*, hay una tendencia a la significación en el tercer *passagio* para los valores de presión. Se podría pensar en que estas cantantes desde el inicio de sus estudios han sido instruidas en la técnica vocal del canto clásico y, por lo tanto, la transición de un registro hacia el siguiente no supone una ruptura sino un continuo.

Algunos autores sí encuentran en sus estudios la posibilidad de un *passagio* en Si5 que incluso asocian con sensaciones subjetivas de "cambio" relatadas por la soprano²².

En la muestra estudiada no ha sido posible determinar mediante la EGG la existencia de un *passagio* en los dos cambios de registro estudiados. Las cantantes han estudiado la técnica vocal enfocada hacia el canto lírico. Seguramente, dentro de su aprendizaje, el dominio del canto *coperto* desde sus inicios en las clases consigue que las transiciones no supongan una ruptura en el registro en estas cantantes.

La *mesa di voce* requiere ajustes y compensaciones continuas de flujo aéreo, presión subglótica y actividad muscular laríngea para mantener una situación de equilibrio de fuerzas constantes. La cantante debe modificar la intensidad de forma independiente mientras que el tono, la vocal cantada y el timbre deben quedar lo más constante posible. El EGG en *mesa di voce* en mujeres presenta una amplitud reducida excepto en un caso que se satura y que utiliza una estrategia de "plateau" para la *mesa di voce*¹¹. Se podría deducir que las sopranos se basan sobre todo en el control laríngeo para la realización de la *mesa di voce* sin menospreciar la utilización de la presión subglótica.

En la literatura sobre la dinámica de la voz cantada, los aspectos aerodinámicos no son los más extensamente estudiados ni los mejor conocidos, sin embargo la mayoría de autores coinciden en la necesidad de comprender los aspectos aerodinámicos de la voz para deducir sus mecanismos fisiológicos. Seguramente este déficit sea producido por la dificultad que entraña la medida exacta de parámetros como la presión subglótica y el flujo translótico de una manera sistemática y protocolizada. En este estudio se ha pretendido que la muestra sea extensa, 19 cantantes, lo más homogénea posible, sopranos no dramáticas, de esta manera otorgar firmeza a nuestros resultados.

Bibliografía

1. Baken RJ. Clinical Measurements of Speech and Voice. 1987. Boston: Little, Brown. Sundberg J. The Human Voice (Comprehensive Human Physiology). 1996. Springer-Verlag-Berlin-Heidelberg.
2. Tapia AG. Manuel Garcia, su influencia en la laringología y en el arte del canto. Nicolás Moya, editor. 19-5-1905. Madrid.
3. Iwarsson J, Thomasson M, Sundberg J. Effects of lung volume on the glottal voice source. *J Voice*. 1998 Dec;12(4):424-433.
4. Isshiki N. Regulatory mechanism of voice intensity variation. *J Speech Hear Res*. 1964 Mar;128:17-29.
5. Rubin HJ, LeCover M, Vennard W. Vocal intensity, subglottic pressure and air flow relationships in singers. *Folia Phoniatr (Basel)*. 1967;19(6):393-413.
6. Faaborg-Andersen K, Yanagihara N, Von LH. Vocal pitch and intensity regulation. A comparative study of electrical activity in the cricothyroid muscle and the airflow rate. *Arch Otolaryngol* 1967 Apr;85(4):448-454.
7. Griffin B, Woo P, Colton R, Casper J, Brewer D. Physiological characteristics of the supported singing voice. A preliminary study. *J Voice* 1995 Mar;9(1):45-56.
8. Cleveland TF, Stone RE, Jr., Sundberg J, Iwarsson J. Estimated subglottal pressure in six professional country singers *J Voice*. 1997 Dec;11(4):403-409.
9. Sundberg J. The science of the singing voice. Northern Illinois University Press, editor. 1987. Dekalb, Illinois. Titze IR, Shirley G.I., Long R., et al. *Messa di Voce: An Investigation of the Symmetry of Crescendo and Decrescendo in a Singing Exercise. NCVS Status and Progress Report* 1998 Jun;12:145-152.
10. Titze IR, Sundberg J. Vocal intensity in speakers and singers. *J Acoust Soc Am*. 1992 May;91(5):2936-2946.
11. Giovanni A, Ouaknine M, Garrel R. Physiologie de la phonation. Elsevier SAS, editor. [20-632-A-10], 1-15. 2003. Paris. *Encycl Méd Chir*.
12. Garcia-Tapia R., Cobeta I. Diagnóstico y tratamiento de los trastornos de la voz. Editorial Garsi S.A., editor. 1ª. 1-10-1996. Madrid.
13. Hollien H. On vocal registers. *Journal of Phonetics* 1974;2:125-143.
14. Titze I. The importance of vocal tract loading un mantaining vocal fold oscillation. *Proceedings of the Stockolm music acoustic conference Royal Swedish Academy of music* 1985;46(1):61-67.
15. Hirano M. The Clinical Examination of Voice. 1994. Ref Type: Serial (Book, Monograph)
16. Birch P, Gumoes B, Stavard H, Prytz S, Bjorkner E, Sundberg J. Velum behavior in professional classic operatic singing 3. *J Voice* 2002 Mar;16(1):61-71.
17. Fant G, Kruckenberg A, Liljencrants J. The source-filter frame of prominence. *Phonetica* 2000 Apr;57(2-4):113-127.
18. Miller DG, Schutte HK. Physical definition of the «flageolet register». *J Voice*. 1993 Sep;7(3):206-212.