

BASES ACÚSTICAS DE LA VOZ

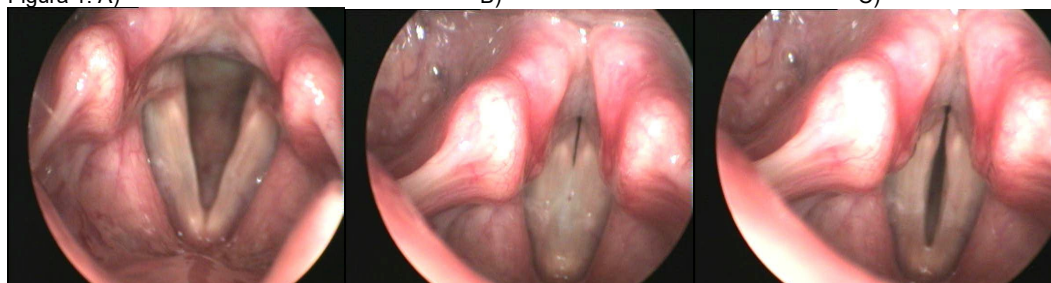
**M. Pilar Murtró Ayats. Licenciada en Medicina y Cirugía, fonoatra y máster en logopedia. Profesora de la Universitat Central de Catalunya (UCC) y de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC)
Ponencia al XVI Congreso Nacional de la Sociedad Médica Española de Foniatria (SOMEF)**

Este estudio tiene por objetivo ofrecer una mirada sobre los aspectos más relevantes de la acústica de la voz a partir de los hallazgos publicados desde el segundo tercio del siglo pasado y fundamentalmente, los últimos 30 años.

Entendiendo que no se dispone aquí del tiempo ni del espacio para revisar en profundidad los fundamentos de física acústica ni es éste el propósito de esta comunicación, se ha procurado explicar muy brevemente los puntos básicos de mayor utilidad para los profesionales de la voz. Las imágenes de análisis acústico de las vocalizaciones se han obtenido con los programas Multispeech y MDVP (Multidimensional Voice Program) de Kay Elemetrics Co.

La voz es el resultado de la conversión de la energía aerodinámica en energía acústica (Titze, 2001) cuando el flujo de aire pulmonar atraviesa y hace vibrar los repliegues vocales (figura 1)

Figura 1. A)



B)

C)

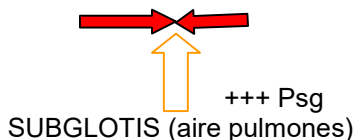
Figura 1. Video-larino-estroboscopia. Vista superior de la glotis en respiración (A) y en fonación (B i C)

- A. Respiración. Glotis abierta. Repliegues vocales separados. El aire pasa libremente.
- B. Fonación. Comienza el ciclo vibratorio. Glotis cerrada. Fase cerrada del ciclo vibratorio. El aire, por debajo de los repliegues, aumenta de presión hasta separarlos.
- C. Fonación. Glotis cerrada. Fase abierta del ciclo vibratorio. El aire atraviesa la glotis y vibra.

El aire procedente de los pulmones experimenta un aumento de presión por debajo de la glotis cuando la halla cerrada por acción de la musculatura laríngea. Es la presión subglótica (P_{sg}) que, cuando es suficientemente fuerte para vencer la resistencia (fuerza de aducción) de los repliegues vocales, los abre y el aire escapa hacia el tracto vocal (Fant, 1960), haciendo aumentar la presión del tracto vocal (P_t) o presión supraglótica (Rothenberg, 1981, 1983), (Rothenberg i Mahshie, 1986). Se inicia así el ciclo vibratorio de los repliegues vocales (figura 2)

Figura 2. A)

SUPRAGLOTIS (tracto vocal)



B)

SUPRAGLOTIS (tracto vocal)

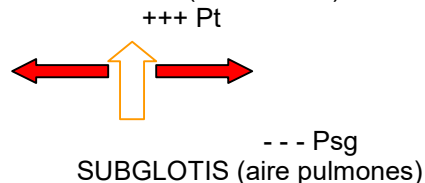


Figura 2. Las flechas rojas representan la fuerza de aducción a nivel glótico y las blancas el flujo de aire transglotal. En un primer momento (A) la P_{sg} aumenta por debajo de los repliegues vocales hasta que vence la fuerza de aducción y comienza a separarlos (B). La P_t empieza a aumentar mientras que la P_{sg} , al no hallar resistencia, empieza a disminuir.

El punto de máximo flujo de aire no se alcanza desde el primer momento sino que, por inercia, se retarda ligeramente (Rothenberg, 1981). Mientras la glotis abre y el flujo crece, la presión

supraglótica (P_t) es positiva y se produce un aumento de presión transglótica que ayuda a mantener separadas las cuerdas (Titze, 2001).

Pero ahora la P_{sg} , al no hallar resistencia, ya ha descendido y la glotis empieza a cerrar sin embargo a medida que cierra, la P_{sg} aumenta de nuevo. Ahora el flujo de aire procedente de los pulmones halla la hendidura glótica más reducida, crece en velocidad intentando mantener el mismo volumen pero la inercia del aire al pasar, provoca un descenso muy rápido de la P_t . Esto reduce la presión transglótica y ayuda al súbito cierre de los repliegues vocales y a la brusca interrupción del flujo (de gran importancia como se verá más adelante) (Fant, 1979), (Rothenberg, 1981, 1983), (Sundberg, 1987), (Baken i Orlikoff, en prensa). La presión subglótica necesitará vencer de nuevo la resistencia de los repliegues vocales y el ciclo vibratorio vuelve a empezar (figura 3)

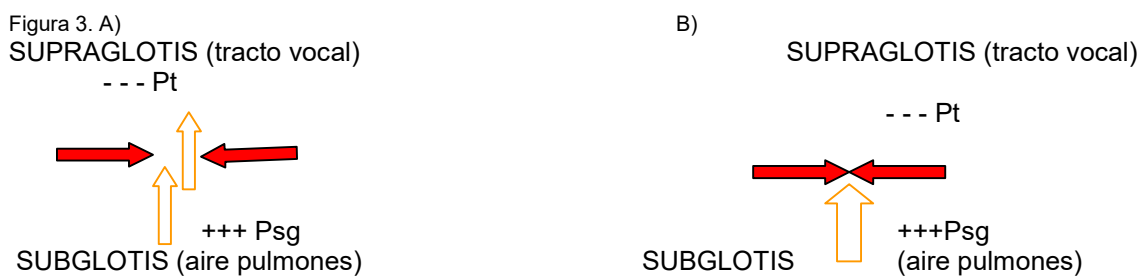


Figura 3. Las flechas rojas representan la fuerza de aducción a nivel glótico y las blancas el flujo de aire transglotal. Los repliegues vocales comienzan a cerrar (A), la P_{sg} vuelve a aumentar por debajo de los repliegues vocales, el flujo de aire aumenta de velocidad para mantenerse constante y la P_t disminuye súbitamente por inercia del flujo provocando el cierre brusco de los repliegues vocales (B). El ciclo vibratorio vuelve a comenzar.

Así, la presión supraglótica, interactuando con la fuente, ayuda a mantener la glotis abierta en la fase de apertura y a cerrarla rápida y fuertemente en la fase de cierre (Titze, 2001).

La continua alternancia de fases abierta y cerrada de la glotis libera pulsos de aire sucesivos originando la onda de sonido que pasará por el tracto vocal hacia los labios (Fant, 1960). El análisis acústico de la voz permite el estudio de las variaciones de amplitud y de frecuencia de los diferentes componentes de esta onda a lo largo del tiempo. Veremos su relación con la intensidad, el tono y el timbre de la voz.

La onda generada repite el mismo ciclo a intervalos regulares de tiempo por lo que se llama periódica y como toda onda periódica cumple el Teorema de Fourier: está formada por una serie infinita de otras ondas periódicas o armónicos. Lo que se denomina serie armónica (Gil, 1993), (Bonavida, 1996), (Baken y Orlikoff, 2000) (figura 4)

Figura 4

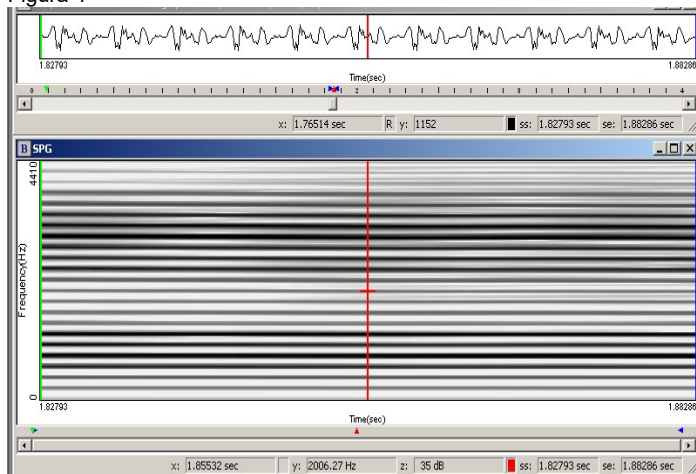


Figura 4. Oscilograma y sonograma de un pequeño fragmento de vocalización (/a/) de un barítono. Oscilograma en la parte superior de la imagen. Se puede apreciar la forma, período y amplitud de la onda o fuente glótica a lo largo del tiempo. Sonograma debajo con armónicos sucesivos a frecuencias múltiples de la fundamental (serie armónica). Los de color más intenso han resultado amplificados al pasar por el tracto vocal. Los más claros, amortiguados (ver explicación en texto).

El primer armónico es la frecuencia fundamental y es percibido como *tono* de la voz; el segundo tiene una frecuencia doble de la fundamental, el tercero, triple, etc. (Sundberg, 1987), (Gil, 1993), (Bonavida, 1996). Así, si la fundamental es de 200 Hz (el ciclo se repite 200 veces por segundo) el décimo armónico tendrá una frecuencia de 2000 Hz.

La frecuencia fundamental es el armónico mas potente y los siguientes tienen menor intensidad según se alejan de él. Pero la onda o fuente glótica pasa a través de las cavidades de resonancia que tienen diferentes frecuencias propias según la configuración que adopten en cada momento. Estas frecuencias reciben el nombre de formantes. Las frecuencias formantes más interesantes del tracto vocal son F1, F2, F3, F4 y F5 (Sundberg, 1987), (Kent, 1992). A partir de ahora la frecuencia fundamental se llamará F0 (formante cero)

El tracto vocal actúa como un filtro que permite el paso de determinadas frecuencias amplificando unas y amortiguando otras. Aquellos armónicos de la onda de sonido que coincidan en frecuencia con alguna de las frecuencias formantes resultarán amplificados; los armónicos restantes resultan amortiguados (figura 5).

Figura 5

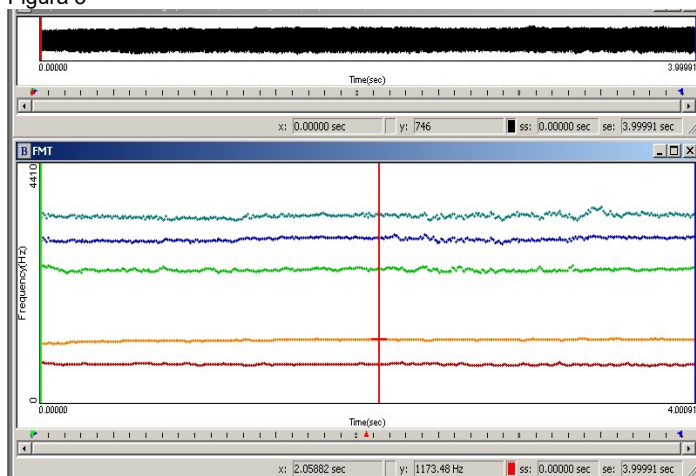


Figura 5. Oscilograma y trayectoria de las formantes de la misma vocal de la figura 4. Oscilograma del fragmento entero de la vocalización en la parte superior de la imagen. Debajo están representadas las frecuencias formantes del tracto vocal cuando el cantante lo ha dispuesto para producir una /a/. Al pasar la serie armónica a través del tracto vocal, excita estas resonancias. Obsérvese que coinciden con las regiones amplificadas de la figura anterior.

Por otra parte, cuando dos resonancias se acercan, se amplifican mutuamente y a la inversa. Así, dependiendo de la relación que establezcan entre sí las diversas formantes, percibiremos un determinado *timbre* de voz o *calidad vocal* (Fant, 1960), (Sundberg, 1987), (Kent, 1992)

De una formante pueden describirse la frecuencia, la amplitud y el ancho de banda. El menor ancho de banda de una formante implica que es más selectiva para un determinado armónico por lo que esa frecuencia será percibida más claramente. La curva que representa estas magnitudes (transfer function) ilustra la transmisión del sonido a través del tracto vocal (figura 6)

Figura 6

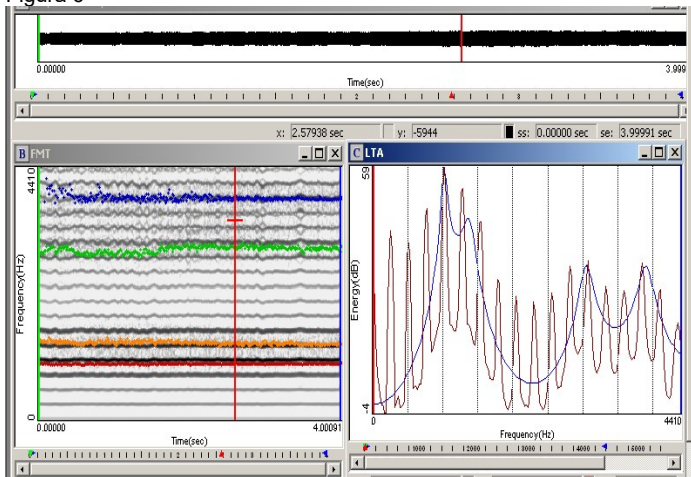


Figura 6. Oscilograma de una /a/ a frecuencia de voz hablada de una mezzosoprano en la parte superior de la imagen. Sonograma con la trayectoria de los formantes en la parte inferior izquierda. Representación de la función de transmisión del sonido (transfer function) en la parte inferior derecha. Los picos de color marrón representan los armónicos (en gris en el sonograma) y los de color azul las formantes F1, F2, F3 y F4 en este caso (rojo, naranja, verde y azul respectivamente en el sonograma). Se aprecia que los picos azules son más agudos (menor ancho de banda) cuanto más selectivos son para un determinado armónico. La mayor altura representa mayor amplificación.

Las dos primeras formantes (F1 y F2) o formantes graves determinan el *timbre de la vocal*, permitiendo distinguir de qué vocal se trata (identificación de la vocal). Las formantes agudas (F3, F4, F5) determinan el *timbre vocal*, el color de la voz (Sundberg, 1987), (Kent, 1992) (fig. 7)

Figura 7

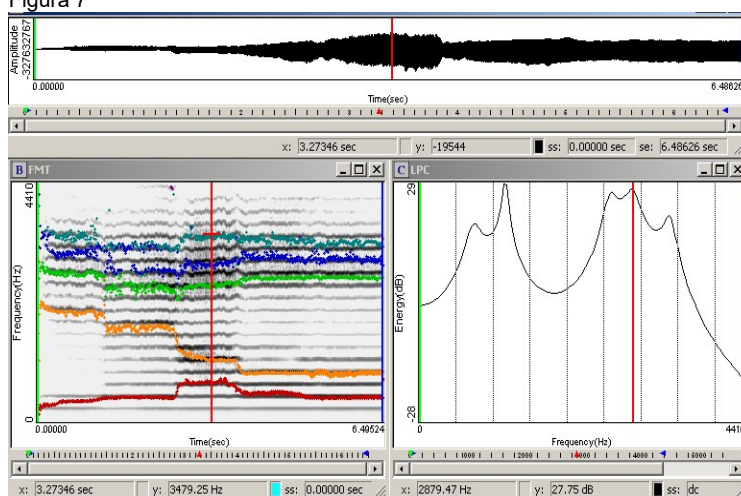


Figura 7. Oscilograma, sonograma, trayectoria de las formantes y transfer function de la secuencia /i,e,a,o,u/ de un barítono a frecuencia de voz hablada. Obsérvese que mientras que F1 y F2 varían en función de la vocal, F3, F4 y F5 se conservan estables para mantener el mismo color de voz.

La frecuencia de estas resonancias depende de la morfología que adopte el tracto vocal a partir de la posición de los articuladores. El nivel de F1 es inversamente proporcional a la altura de la lengua respecto al paladar y al grado de apertura mandibular. Cuanto más abierta es la vocal, más alta será la primera formante (figura 8)

Figura 8

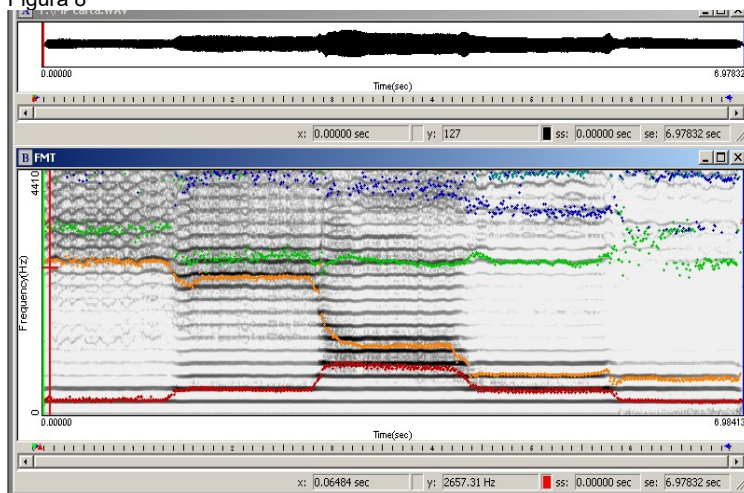


Figura 8. Oscilograma, sonograma y trayectoria de las formantes de la secuencia /i,e,a,o,u/ de una soprano a recuencia de voz hablada. Obsérvese máxima separación entre F1 y F2 en el caso de /i/ y cómo varían las frecuencias de estas formantes con las distintas vocales.

F2 depende del grado de anteriorización o posteriorización de la lengua; cuanto más anterior, más elevada la formante.

F3 depende de las dimensiones de la cavidad que se forme por delante del ápex lingual; cuanto más pequeña más aguda la formante.

F4 y F5 varían con la anchura y longitud del tracto vocal; cuanto más corto y estrecho el tracto, más agudas estas formantes.

En general, alargar el tracto vocal (protruir labios, bajar laringe) hace bajar todas las formantes oscureciendo el timbre de la voz y acortar el tracto vocal (retraer comisuras labiales, subir laringe) eleva todas las formantes produciendo un timbre más claro (Fant, 1980), (Sundberg, 1987), (Kent, 1992).

En el canto se valora la uniformidad del timbre que resulta de la estabilidad de las formantes; en definitiva, de la habilidad en mantener firmemente las posiciones y relaciones de los articuladores.

Se ha hablado anteriormente de la forma en que fuente glótica y tracto vocal interactúan tanto en el mantenimiento del flujo como en el cierre súbito de la glotis. El primer fenómeno resulta en un descenso del umbral de fonación al favorecer la fase de apertura (Titze, 1997, 2001). El segundo fenómeno refuerza la amplitud de todos los armónicos y permite generar la energía suficiente para estimular las frecuencias más agudas del resonador (F3, F4 y F5) y así obtener una óptima transferencia del sonido (Fant, 1979), (Rothenberg, 1981, 1983), (Sundberg, 1987). Acústicamente hablando, en el canto clásico se persiguen el bajo umbral de fonación (facilidad de emisión) y la eficiente transferencia del sonido (máxima transmisión con el mínimo esfuerzo) Se verá que ambas dependen de la interacción entre la fuente glótica y el tracto vocal: Por una parte, del equilibrio entre la presión del aire procedente de los pulmones (Psg) y el grado de aducción de los repliegues vocales y por otra, de la configuración que adopte el resonador en cada momento de la emisión (Sundberg, 1974).

Equilibrio Psg – Aducción. Para que la presión subglótica pueda vencer la resistencia de la glotis y provocar su apertura es preciso que el diafragma esté activo y que la fuerza de aducción cordal esté en un punto que deje pasar un buen flujo de aire pero sin que la glotis pierda su fase cerrada. Es lo que Sundberg (1987) llama *fonación fluida*. Los dos extremos, por exceso y por defecto, son *fonación oprimida* y *fonación soplada o floja*.

En fonación oprimida pasará poco volumen de aire a mucha velocidad. Dado que la amplitud de la fundamental es directamente proporcional al valor máximo de flujo transglotal en un período (Sundberg, 1987) y por otra parte los armónicos agudos dependen de la velocidad del flujo, hallaremos una fundamental débil con armónicos agudos conservados. El resultado será una voz brillante pero estridente por la escasa presencia de los armónicos graves que dependen de la fundamental.

En fonación floja o soplada, por el contrario, tal vez habrá abundante flujo transglótico pero será muy lento; esto provocará que el cierre de la glotis no sea repentino y fuerte sino lento y flojo (o que no alcance jamás a cerrar) con lo que no se estimularán las formantes agudas. Así veremos que en el espectro predomina la fundamental y el resto de frecuencias decae rápidamente.

La fonación fluída, al tener la cantidad y velocidad de flujo adecuados, tendrá una calidad vocal óptima (ver cuadro 1)

CUADRO 1

	fonación oprimida	fonación fluída	fonación floja
Cantidad flujo	+	+++	++++
Velocidad flujo	++++	+++	+
Amplitud F0	+	++ / +++	++ / +++
Formantes agudas	++ / +++	++++	+
Calidad vocal	estridente	óptima	pobre, soplada

Cuadro1. Cantidad y velocidad de flujo, amplitud de la fundamental y de las formantes agudas y tipo de calidad vocal. Comparación entre los tres tipos de fonación: oprimida, fluída y floja o soplada.

Considerando ahora el otro factor que influye en la transmisión del sonido, es decir, la *configuración del tracto vocal*, hay que manifestar que cuando la interacción fuente – tracto es favorecedora de la vibración cordal y de la propagación del sonido, se habla de *tracto vocal inercial*. Desde el punto de vista acústico, esta situación sólo se presenta cuando el valor de la primera formante se mantiene por encima del de la frecuencia fundamental ($F1 > F0$) (Titze, 2001, 2006)

La *intensidad* de una vocal depende sobre todo de la amplitud de la primera formante ($F1$) ya que es la más próxima a la fundamental aunque a elevadas $F0$ este papel puede ser asumido por $F2$ (Schutte y Miller, 1990). Y, por otra parte, la amplitud de $F0$ depende de la cantidad de flujo transglotal (Sundberg, 1987) Pero la percepción de sonoridad viene dada en gran medida por el refuerzo que experimenten las frecuencias alrededor de los 3000 Hz que como se ha visto depende de la rápida interrupción del flujo (tasa de cierre) (Fant, 1979), (Sundberg, 1987). La razón reside en que el oído humano goza de especial percepción a estas frecuencias y por otro lado, destacan por encima del enorme sonido de una orquesta pues la mayoría de los instrumentos no las generan.

Una orquesta tiene un gran volumen de sonido entre los 500 Hz y los 1000 Hz. En esta región los armónicos del cantante no pueden competir con ello y resultan inaudibles pero, gracias a una diferente distribución de energía en el espectro, el cantante acumula una gran área de resonancia hacia los 3000 Hz (Bartholomew, 1934). La existencia de una distancia constante entre armónicos (recordemos la serie armónica de la onda periódica) permite que el oído humano *reconstruya* las frecuencias enmascaradas y *perciba* la $F0$ (Sundberg, 1977).

Por ello las voces grandes del mundo occidental han desarrollado la llamada formante del cantante (F_s) que se observa en esta región alrededor de los 3000 Hz y se obtiene del agrupamiento de $F3$, $F4$ y $F5$ (anteriormente se ha visto que las resonancias se refuerzan cuando se acercan) (Sundberg, 1974, 1978, 2001) (figura 9)

Figura 9

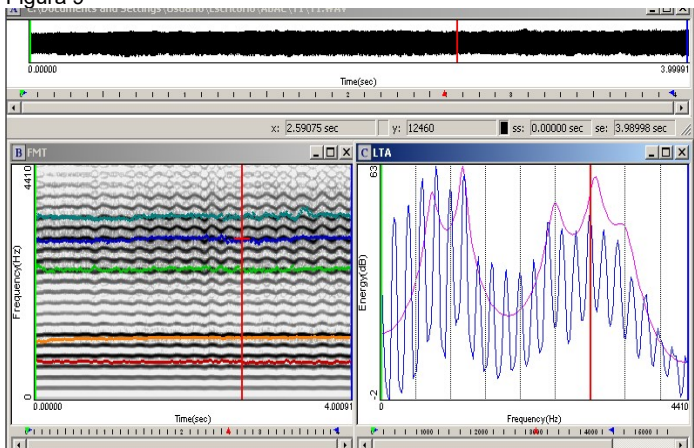
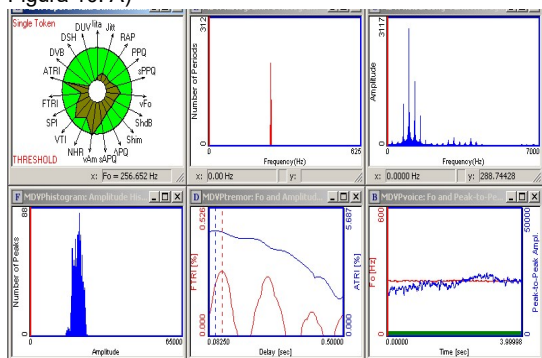


Figura 9. Oscilograma, sonograma, trayectoria de las formantes y transfer función de una /a/ cantada por un tenor a 200 Hz donde puede verse (derecha inferior) la región de gran resonancia determinada por el agrupamiento de F3, F4 y F5. En el sonograma se observa vibrato. El cursor señala (de derecha a izquierda) un fragmento de un segundo donde se ven las modulaciones de frecuencia en número de 6 por segundo (ver explicación en el texto, más adelante)

Por otra parte, el volumen de fonación incide en el timbre de forma que intensidades mayores excitan más los armónicos agudos aportando brillo a la voz.

En la figura 10 pueden compararse dos producciones, una hablada y otra cantada de una mezzosoprano. El espectro, que representa las amplitudes de los armónicos en las diferentes frecuencias, muestra que, en la voz cantada, la ratio entre armónicos agudos y graves es claramente favorable a los agudos. También se observa la aparición de un vibrato regular con sincronía de frecuencia y amplitud.

Figura 10. A)



B)

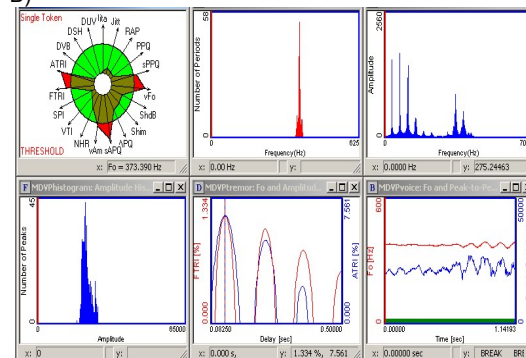


Figura 10. Diferencias entre voz hablada (A) y cantada (B) en el análisis multidimensional (MDVP) de la voz de una mezzosoprano. En B los armónicos agudos están mucho mucho más reforzados en el espectro (cuadro superior derecho) y la ratio agudos/graves es mayor. Aparece vibrato regular con sincronía de frecuencia y amplitud (cuadro inferior medio y superior izquierdo)

La voz de soprano es un caso especial. Para comprenderlo hay que hablar de cómo el cantante, aunque de forma a menudo inconsciente, va adaptando el tracto vocal para la mejor transferencia del sonido (Miller y Schutter, 1991) . En el sonograma se evidencia que las

formantes buscan a los armónicos, hacen que sus frecuencias coincidan. Se trata de la *sintonización de formantes* (Sundberg, 1977)

La soprano no puede agrupar formantes porque a una F0 elevada los armónicos están muy separados y los desintonizaría; por ello no se puede decir que la soprano tenga una auténtica Fs pero por otra parte no la necesita pues obtiene la *voz resonante* abriendo mucho la mandíbula de forma que sintoniza F1 (que, si mantuviera el resonador en condiciones normales de habla, quedaría por debajo de la fundamental) con F0. Posteriormente, cada uno de los demás armónicos actúa como una formante (Sundberg, 1979).

Eso explica que la inteligibilidad de las vocales sea menor a altas F0 como en el caso de la soprano pues va variando la disposición de la lengua y la mandíbula para poder acercar F1 a F0. El resto de formantes sintoniza con los armónicos de la fuente pero ya no guardan las mismas relaciones que en el habla (figura 11)

Figura 11

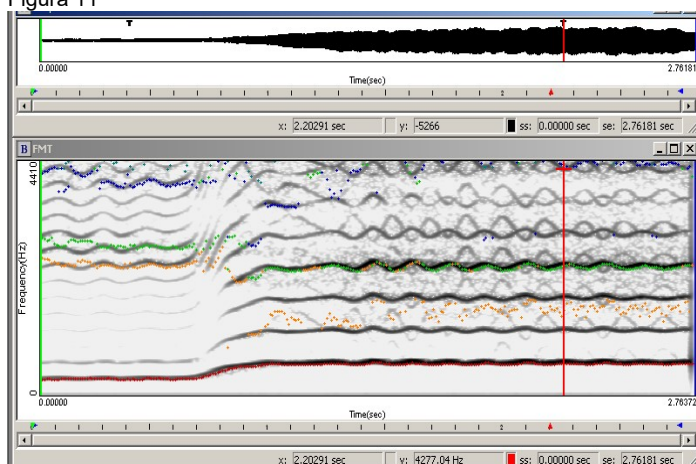


Figura 11. Oscilograma, sonograma y trayectoria de las formantes de una /i/ de una soprano a 356 Hz haciendo un salto de octava. En la primera parte del sonograma se identifica perfectamente la /i/ mientras que en la segunda, F1 sube sintonizada con la fundamental y el resto de formantes también sintonizan los demás armónicos perdiendo las relaciones habituales de voz hablada.

El acercamiento de las formantes agudas en la formante del cantante (Fs) se puede conseguir fundamentalmente de dos formas: Ya sea haciendo descender la laringe (Sundberg, 1987) ya sea adelantando y elevando la lengua, lo que estrecha el vestíbulo laringeo o epilaringe (Titze, 2001) en sentido anteroposterior hasta formar un pequeño resonador que tenga una longitud aproximada de 1/6 de la longitud total del tracto vocal y su área tenga una sección de 1/6 del área de la faringe (Sundberg, 1987) No hay constricción; al contrario, las bandas ventriculares se retraen y aplanan, creando una pared que dilata el ventrículo de Morgagni

Lo cierto es que hay importantes diferencias en las estrategias que adoptan los distintos cantantes para obtener el mejor resultado acústico y muchos cantan muy bien con la laringe alta. Depende, en definitiva de sus características anatómicas y fisiológicas y de sus necesidades: Un cantautor, que utiliza amplificación, no tendrá la formante del cantante pero sí la llamada formante del hablante que corresponde a F4 y a veces a F3 y se detecta en toda persona habituada a hablar en público (Sundberg, 1987).

Hay que destacar que en el canto coral, las cosas se apartan algo de lo que se ha venido diciendo puesto que el cantor debe aprender a adaptar su propio timbre al de los demás compañeros del coro (Bonet i Murtró, 2003). Se ha observado que un cantante muestra más energía en la zona aguda del espectro si canta un mismo fragmento vocal como solista que como integrante de un coro (Rossing et al, 1986)

En el canto se da el fenómeno del *vibrato*. Se define como la *modulación* de frecuencia y amplitud de la voz del cantante.

Modulación es la variación sistemática de un parámetro cíclico (ej. amplitud o frecuencia) cada varios ciclos de fonación (Titze, 1995).

En el vibrato el mecanismo primario es la modulación de frecuencia fundamental y secundariamente se ve afectada la amplitud (Marqués - Girbau y Fernández - González, 2006). La frecuencia fundamental y sus armónicos varían cíclicamente mientras que las formantes no experimentan cambios. La variación sincrónica con F0 hace que los armónicos se vean arrastrados y se acerquen o alejen de las formantes viéndose más o menos reforzados de forma que la modulación en amplitud sobreviene pasivamente. Es la RHI (interacción resonancia - armónicos) de Horii y Hata (1988).

Aparte de la *intensidad*, en el vibrato se pueden distinguir la *frecuencia de vibrato* que acostumbra a ser de entre 5,5 y 7,5 ciclos por segundo (Hz) y la *extensión* (incremento o descenso de frecuencia en un ciclo de vibrato) que puede abarcar de 1 a 2 semitonos (Marqués - Girbau i Fernández - González, 2006) En la figura 9 se observa un vibrato muy regular mientras que el de la figura 12 presenta mayor número de irregularidades.

Figura 12

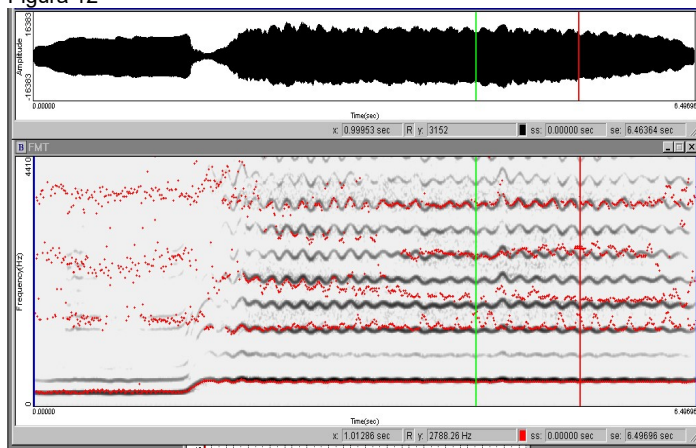


Figura 12. Salto de octava con consonante nasal /m/ en una soprano. Sintonización de formantes y vibrato irregular con una frecuencia de 6,5 Hz (contando desde el límite derecho de la imagen hasta el cursor)

Cuando no se obtiene vibrato de forma natural y el cantante busca la modulación de amplitud por medio de movimientos diafragmáticos o de mandíbula, se produce el *trémolo* que resulta artificial y desagradable.

Otro caso es el de los *subarmónicos*. En el sonograma aparecen líneas intercaladas entre los armónicos indicando que, en determinados momentos, los repliegues vocales vibran a una frecuencia mitad de la fundamental. Esta frecuencia ($F0/2$) es débil e inconstante, debido a ello no es reconocida, ni perceptual ni instrumentalmente, como una nueva fundamental sino como rudeza de la voz. Los subarmónicos han sido atribuidos a asimetrías mecánicas o geométricas entre los repliegues vocales (Titze 1998), combinación de dos modelos vibratorios ($F0$ y $F0/2$) y desincronización en la vibración anteroposterior (Svec, Schutte y Miller, 1996) Aparecen frecuentemente en fonación oprimida y se oyen muchas veces en voz hablada en finales de frase muy graves.

El canto clásico los evita; sin embargo constituye un efecto muy a menudo buscado y apreciado en el canto moderno (figura 13)

Figura 13

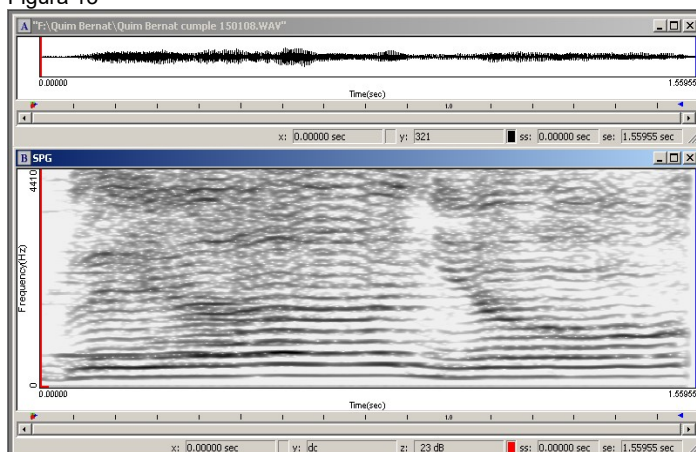


Figura 13. Subarmónicos aparecen como líneas intercaladas entre los armónicos en el tercio izquierdo del sonograma. Ver explicación en el texto.

Finalmente, otro aspecto a considerar es la *nasalidad*. El acoplamiento del tracto nasal al resonador ocurre cuando el velo del paladar permite el paso del aire hacia las fosas nasales (en condiciones normales sólo pasa para producir las consonantes nasales). De ese modo se añade una rama colateral al resonador oral introduciendo una antiresonancia en el sistema (Kent, 1992). La antiresonancia provoca que la energía espectral decrezca por amortiguación del sonido a su alrededor. En el sonograma se observa una pérdida de armónicos a determinadas frecuencias y puede aparecer una formante de nasalidad entre los 250 Hz y los 500 Hz.

Puede rebajar el nivel de sonido (Kent, 1992). La voz será menos potente pero con sensación resonante. Esto explica que las consonantes nasales sean útiles para el entrenamiento vocal (Titze, 2001) (figura 14)

Figura 14

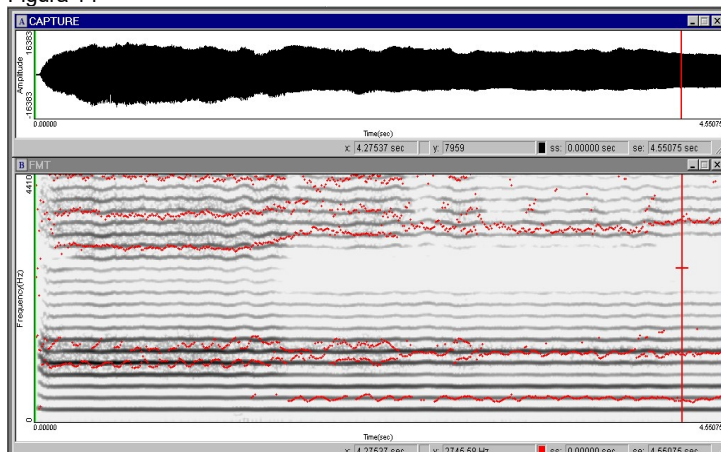


Figura 14. /a/ nasalizada. Al producirse el acoplamiento del tracto nasal se observa pérdida de amplitud en el oscilograma, pérdida espectral en el sonograma y aparición de la formante de nasalidad alrededor de los 400 Hz

Algunas personas tienen habitualmente un cierto grado de nasalidad (paso abierto en alguna medida) pero el escape de aire no es proporcional al grado de apertura sino que depende de las resistencias nasales y de los ajustes que se realicen en todo el tracto (Baken y Orlikoff, 2000).

Hay que distinguirlo del *twang*. Éste es un determinado timbre vocal que parece localizarse en la nariz pero realmente, *no tiene nasalidad*, el paso está cerrado. Se obtiene con la faringe y epilaringe estrechas (Estill et al, 1983). Puede ser que no guste el timbre pero lo cierto es que en estas condiciones el tracto vocal experimenta el mayor grado de inercia (Titze, 2001) (figura 15)

Figura 15

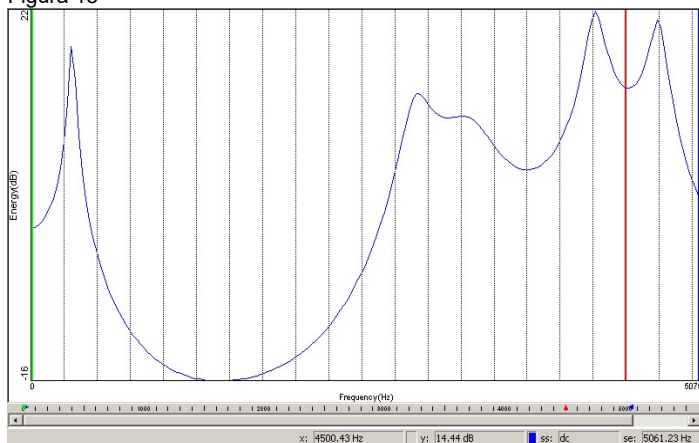


Figura 15. Transfer function de la vocal /i/ con twang, en una soprano. Se observa la gran amplitud de F4 y F5.

El twang aporta mucho brillo a la voz y se utiliza en determinados momentos en los diversos estilos de canto pero muy especialmente en el belting (Evans, 1993) Obsérvese (figura 16) que F1 está característicamente sintonizado con el 2º armónico (Schutte y Miller, 1993)

Figura 16

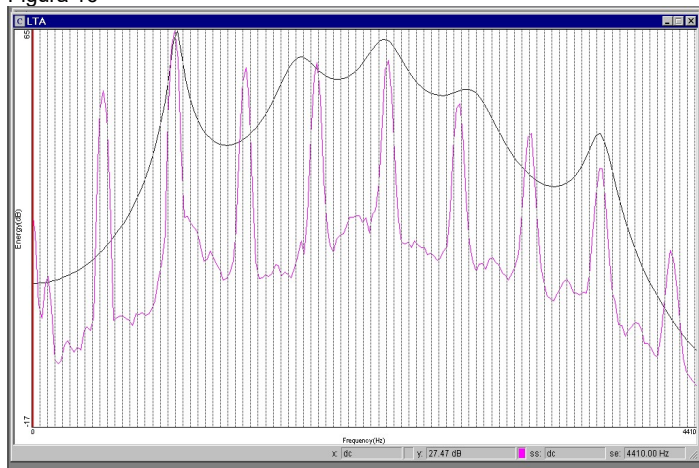


Figura 16. Transfer function de la vocal /e/ de una soprano en belting. Máxima transmisión del sonido.

Las conclusiones que se derivan de esta mirada sobre los principales rasgos acústicos de la voz podrían resumirse diciendo que la facilidad de emisión y la eficiente transmisión del sonido se obtiene con estrategias fonoarticulatorias que implican la concurrencia de los siguientes factores:

- 1) Equilibrio entre presión subglótica y fuerza de aducción de los repliegues vocales
- 2) Tracto vocal inercial ($F1 > F0$)
- 3) Sintonización de formantes
- 4) Acercamiento de F3, F4 y F5 para la voz resonante

BIBLIOGRAFÍA

- Baken R J. & Orlikoff R F. Clinical Measurement of Speech and Voice. *Delmar. Singular Publishing Group*. 2000
- Baken R J. & Orlikoff R F. (in press) Phonatory response to step function changes in supraglottal pressure. *Vocal Fold Physiology: Laryngeal Function in Phonation and Respiration*. San Diego, CA: College-Hill Press.
- Bartholomew T. A physical definition of “good voice quality” in the male voice. *J Acoust Soc Amer* 1934;6:25-33
- Bonavida A. Notas básicas de Física Acústica. A García-Tapia, R., Cobeta, I. Diagnóstico y Tratamiento de los Trastornos de la Voz. Garsi. Madrid, 1996
- Bonet M, Murtró P. La Voz Adulta en el Coro. *Revista Española de Foniatría*. Salamanca, 2003;13: 63-75
- Estill J, Baer T, Honda K and Harris S. Supralaryngeal activity in a study of six voice qualities. *Proc. of Stockholm Music Acoustics Conference 1983 (SMAC 83)* (nº 1), ed. A. Askenfeld, S. Felicetti, E. Jansson and J. Sundberg, pp. 157-174. Stockholm: Royal Swedish Acad. of Music
- Evans M , Howard DM. Larynx closed quotient in female belt and opera qualities: A case study. *Voice*, 1993;2:7-14
- Fant G. Acoustic Theory of Speech Production. *Mouton*. The Hague, 1960
- Fant G. Glottal Source and Excitation Analysis. *Speech Transmission Laboratory and Quarterly Progress and Status Report (KTH, Stockholm)* 1979;1:85-107
- Fant G. The relations between area functions and the acoustic signal. *Phonetica*, 1980;37: 55-86.
- Gil J. Los Sonidos del Lenguaje. *Síntesis*. Madrid, 1993.
- Horii Y, Hata K. A note on phase relationships between frequency and amplitude modulations in vocal vibrato. *Folia Phoniatr* 1988; 40:303-311.
- Kent R D, Read Ch. *The Acoustic Analysis of Speech*. Singular Publishing Group, Inc. San Diego, California, 1992
- Marqués Girbau M, Fernández González S. Vibrato de la Voz Cantada. Caracterización acústica y bases fisiológicas. *Rev Med Univ Navarra* 2006;50:3:65-72.
- Titze IR. Acoustic Interpretation of Resonant Voice. *J. Voice*. 2001;15(4):519-528
- Miller DG, Schutte HK. Formant tuning in a professional baritone. *J Voice* 1990;4:231-7
- Rossing TD, Sundberg J, and Ternström S. *Acoustic comparison of voice use in solo and choir singing*. *JASA* 1986; 79: 1975-81
- Rothenberg M. Acoustic Interaction between the Glottal Source and the Vocal Tract; in Stevens KN, Hirano M (eds): *Vocal Fold Physiology*. University of Tokyo Press, Tokyo, 1981;pp 305-328.
- Rothenberg M. Source-tract acoustic interaction and voice quality. In: Lawrence VL, ed. *Transcripts of the 12th Symposium Care of Professional Voice, Part I*. New York, NY: The Voice Foundation; 1983:25-31
- Rothenberg M, Mahshie J. Induced transglottal pressure variations during voicing. *Journal of Phonetics* 1986;14: 365 – 371
- Schutte HK, Miller DG. Acoustic details of vibrato cycle in tenor high notes. *J Voice* 1990;5:217-23

- Schutte HK, Miller DG. Belting and Pop Nonclassical Approaches to the Female Middle Voice. Some Preliminary Considerations. *J Voice* 1993;7:142-150
- Sundberg J. The Science of the Singing Voice. *Northern Illinois University Press*. Dekalb, Illinois. 1987
- Sundberg J. Articulatory interpretation of the "singing formant". *J Acoust Soc Amer*. 1974; 55:838-844
- Sundberg J. Level and center frequency of the singer's formant. *Journal of Voice*. 2001;15(2):176-186
- Sundberg J. Research on the singing voice in retrospect. *TMH-QPSR*. 2003;45
- Sundberg J. The Acoustics of the singing Voice. *Scientific American*. March, 82-91. 1977
- Svec JG, Schutte HK, Miller DG. A subharmonic vibratory pattern in normal vocal folds. *Journal of Speech and Hearing Research* . 1996; 39:1:135-143.
- Titze IR. Workshop on Acoustic Voice Analysis. *National Center for Voice and Speech*. 1995
- Titze IR. Acoustic interactions of the voice source with the lower vocal tract. *J Acoust Soc Am*. 1997;101:2234-2243
- Titze IR. What is a subharmonic?. *Journal of singing*. November/December 1998
- Titze IR. The F0-F1 Crossover Exercise. *Journal of singing*. 2006;62(3):295-297