

EL FORMANT DEL CANT: UNA REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA

Laia Cladellas Llargués

Conservatori Superior de Música Oscar Esplá d'Alacant, Espanya

www.laiacladellas.com

Resum:

El cant és la utilització de la veu com un instrument musical. La caracterització de la veu lírica cantada és moltes vegades ambigua i abstracta, però hi ha un consens general en el fet que som capaços de diferenciar una veu lírica d'altres veus cantades. Un dels paràmetres acústics diferencials de les veus líriques és l'anomenat "formant del cant". Diversos investigadors han dut a terme estudis per tal de corroborar o no la presència del formant del cant en les veus líriques. Aquest article ofereix una revisió de conjunt.

Paraules clau: veu cantada, formant del cant, qualitat de la veu, acústica

Resumen:

El canto es el uso de la voz como un instrumento musical. La caracterización de la voz lírica cantada es muchas veces ambigua y abstracta, pero hay un consenso general en el hecho de que somos capaces de diferenciar una voz lírica de otras voces cantadas. Uno de los parámetros acústicos diferenciales de las voces líricas es el llamado "formante del canto". Diversos investigadores han llevado a cabo estudios para corroborar o no la presencia del formante del canto en las voces líricas. Este artículo ofrece una revisión de conjunto.

Palabras clave: voz cantada, formante del canto, calidad de la voz, acústica

Abstract:

Singing is the use of the voice as a musical instrument. The characterization of lyrical singing voice is often ambiguous and abstract, but there is a general consensus on the fact that can differentiate a lyrical voice from other singing voices. One of the acoustic parameters of the lyrical voices is called "singing formant". Researchers have conducted studies to corroborate or not the presence of singing formant in the lyrical voices. This article provides a general review.

Keywords: *singing voice, sing formant, voice quality, acoustics*

1. AVALUACIÓ DE LA QUALITAT VOCAL

Per tal de fer una anàlisi de la qualitat vocal hem de tenir en compte l'avaluació dels següents factors: l'extensió de la veu, la freqüència, la intensitat i el timbre. Segons els resultats d'aquests factors, una veu pot ser normal (*modal*, en anglès) o patològica. A continuació es farà una descripció de com s'avaluen els diferents trets.

1.1. Avaluació de l'extensió vocal

Aquesta qualitat ens permet mesurar la capacitat individual de variació de freqüència i intensitat per un so. L'avaluació es realitza triant una nota musical amb una freqüència còmoda per l'examinat, s'augmenta fins arribar als valors màxims que l'examinat pot assolir i posteriorment es disminueix fins els valors més greus. L'extensió que assolixen tant els homes com les dones és més gran quant més tècnica vocal tenen. L'extensió canvia en els nens quan arriben a l'adolescència, es manté estable a l'edat adulta i entra en declivi quan es sobrepassen els 60 anys. Amb el fonetograma podrem observar el camp vocal d'una persona (v. Elgström. 2006).

1.2. Avaluació de la freqüència

És un dels paràmetres més estudiats, ja que la veu i per extensió el so és un fenomen vibratori periòdic. En aquest apartat distingirem les fluctuacions no patològiques de la freqüència fonamental de la veu de les patològiques.

Les primeres poden ser producte del sexe, de la diferent morfologia que té cada persona, o bé de les diverses entonacions que fem servir quan parlem (és diferent l'entonació que fem servir quan fem una afirmació que quan fem una pregunta) o quan cantem.

Pel que fa les pertorbacions o les fluctuacions patològiques de la freqüència fonamental, el terme més conegut i estudiat és el *jitter* (tremolor), que mesura les variacions de la freqüència de manera no voluntària, per tant s'han de mesurar amb un so mantingut de manera constant, per exemple una vocal. Amb això estem mesurant l'estabilitat del sistema fonador del pacient sense tenir en compte els canvis voluntaris. Per tal de portar-ho a terme es comparen les diferències de freqüència existents entre cicles propers, que en un sistema òptim haurien de ser 0. Quan més gran sigui el percentatge jitter, més gran serà la pertorbació de la veu i per tant menor serà la qualitat d'aquesta.

1.3. Avaluació de la intensitat

Abad Royo et al. (2003) descriuen els diferents aspectes que influeixen en la intensitat de la veu de la següent manera:

- 1) La voluntat: El pacient pot modificar voluntàriament la intensitat de l'emissió de veu.
- 2) La freqüència de la veu emesa: En els tons mitjos el pacient aconsegueix una intensitat més gran (major) que en les freqüències baixes o greus i que en les més altes o agudes.
- 3) Retroalimentació auditiva: El pacient de manera inconscient eleva o disminueix la intensitat de la veu emesa segons els estímuls auditius ambientals.
- 4) Malalties de la personalitat i del sistema nerviós (depressió, neurosi, etc.) augmenten o disminueixen la intensitat.
- 5) Malalties de la glotis (paràlisi, insuficiència glòtica, hipertensió) poden també disminuir o augmentar la intensitat de la veu.

Respecte les pertorbacions de la intensitat o fluctuacions patològiques de la intensitat:

Independentment dels canvis voluntaris o d'entonació, l'estabilitat de la intensitat hauria de ser constant en una veu sense altres problemes. Les errades d'aquesta estabilitat es mesuren amb el paràmetre anomenat shimmer (llum trèmula). El *shimmer* mesura les petites diferències d'intensitat existent entre les amplituds de cada pic freqüencial. De la mateixa manera que el jitter, quan menors siguin aquests valors, major serà la qualitat de la veu.

1.4. Avaluació del timbre de la veu

El timbre de la veu està relacionat amb la distribució acústica de l'energia de l'espectre freqüencial. Aquesta distribució és el resultat de la transformació del so laringi una vegada ha passat per les parets i les cavitats de ressonància. El resultat final és l'estructura de la veu amb diferents formants. En definitiva aquests formants són reforços freqüencials que defineixen el resultat final de la veu i que fan que el receptor la percebi com a més o menys agradable. La presència de reforços freqüencials periòdics formen els harmònics, que estan presents a les veus normals, d'acord a les característiques del timbre de la veu del pacient. Com a conseqüència de l'aparició de possibles patologies, es pot produir una alteració dels harmònics (González et al., 2002; Omori et al., 1997) o fins i tot poden aparèixer subharmònics patològics, o com passa freqüentment, fer-los desaparèixer en determinades freqüències, especialment en les agudes.

2. VEU NORMAL I VEU PATOLÒGICA

La qualitat de la veu és una apreciació que implica aspectes subjectius. En realitat, la valoració que es fa per seleccionar a professionals com locutors de programes radiofònics, de televisió, dobladors de cinema, oradors o polítics depèn d'un aspecte global que pot resumir-se en que aquesta veu sigui agradable i atractiva per tal que el missatge o contingut de la conversa arribi a l'oient. No obstant, des del punt de vista objectiu, una veu de qualitat ha de tenir, òbviament, una bona relació harmònics/soroll.

En condicions normals, qualsevol senyal acústica de veu té un cert component de soroll per neta que sigui. De tots els paràmetres relacionats amb soroll el que utilitzarem nosaltres és el *NHR* (*Noise to Harmonic Ratio*), en el qual els valors de normalitat en aquest cas han de ser inferiors a 13%.

En els espectrogrames de grisos s'interpreta soroll quan falten els reforços d'harmònics o dels formants. Des del punt de vista clínic, quan parlem de qualitat de la veu pretenem excloure aspectes negatius que, en definitiva, tendeixen a fer-la desagradable tot i que sigui comprensible. Així doncs, basant-nos en la descripció que fa Laver (1980), les característiques acústiques de la veu normal (*modal voice*) són les següents:

VEU NORMAL

Nom de les veus	Característiques acústiques
<p>Veü normal (modal voice) (registre de la veü de pit)</p>	<p>-El principal mecanisme per controlar la freqüència de vibració dels plecs vocals és la tensió longitudinal de la laringe.</p> <p>-La llargada del plec vocal augmenta a mesura que incrementa la freqüència fonamental.</p> <p>-El gruix del plec vocal varia de forma inversa segons la freqüència (quan més alta és la freqüència, més primers són els plecs vocals). (Hollien i Michel, 1968. Citat per Laver, 1980).</p> <p>-La freqüència del primer formant és de 500 Hz i els formants més alts seran múltiples imparells d'aquest valor (prenent com a exemple un tracte vocal de 17 cm de longitud d'un home adult).</p> <p>-Les bandes amples dels tres primers formants són normalment de 100 Hz (Fant, 1956. Stevens i House, 1961. Citat per Laver, 1980).</p> <p>-Les gammes mitjanes de freqüències dels primers quatre formants pels homes són de: F1, 150-850 Hz; F2, 500-2500 Hz; F3, 1700-3.500 Hz; F4, 2500-4.500 Hz (Fant, 1956. Citat per Laver, 1980).</p> <p>-La gamma mitjana de la freqüència fonamental de la veü d'un home és de 60 a 240 Hz. Les dones tenen, en general, una freqüència fonamental una octava més alta. Les freqüències dels formants són un 17% més elevades (Fant, 1960. Citat per Laver, 1980).</p> <p>-El valor mitjà de la freqüència fonamental en els homes adults és de 120 Hz i en les dones és de 220 Hz (Fant, 1956. Citat per Laver, 1980).</p> <p>-La regularitat de la forma d'ona glotal significa que hi haurà absència de la freqüència jitter i de l'amplitud shimmer.</p> <p>-Hi ha absència de soroll aperiòdic produït per la laringe.</p>

VEU PATOLÒGICA	
Falsetto (falset)	<p>-La freqüència fonamental tendeix a ser considerablement més alta que a la veu modal (modal voice).</p> <p>-Respecte la interacció del'elevada freqüència fonamental i la forma de vibració dels plecs vocals.</p> <p>-La pendent de l'espectre de l'ona de la laringe és molt més pronunciat que en la veu normal.</p>
Whisper (xiuxiueig)	<p>-L'espectre acústic és similar al de la respiració però amb una major concentració d'energia en unes franges semblants als formants. (Catford, 1964. Citat per Laver, 1980). L'efecte auditiu és un so apaivagador relativament "ric".</p>
Creak (vocal fry o glottal fry) (grinyolar)	<p>-Freqüències fonamentals per sota dels 100 Hz.</p> <p>-La gamma de la freqüència fonamental és de 30 a 90 Hz. A causa de la forma amb què es produeix la freqüència fonamental (plecs vocals fluïdos i pressió subglòtica baixa), hi ha força variacions en els períodes de la freqüència fonamental, és a dir les durades dels períodes són diferents. La forma d'ona glotal és bastant irregular. (Monsen i Engbretson, 1977. Citat per Laver, 1980).</p> <p>-La pressió d'aire subglòtica és menor que en la veu normal (Murry, 1969. Citat per Laver, 1980).</p> <p>-La freqüència fonamental mitjana és de 34.6 Hz (la gamma de la freqüència fonamental en veus masculines és de 24 a 52 Hz).</p> <p>-Ni la llargada ni el gruix dels plecs vocals varien amb els canvis de to. (Hollen i Michel, 1968. Citat per Laver, 1980).</p>
Harshness (aspresa)	<p>-Irregularitat de la forma d'ona glotal i soroll espectral.</p> <p>-Freqüències fonamentals aperiòdiques. És a dir hi ha una presència de la pertorbació del to (jitter).</p> <p>-Freqüències fonamentals per sobre dels 100 Hz.</p> <p>-Soroll aperiòdic i vibració dels plecs vocals aperiòdica. Aquesta vibració dels plecs vocals pot ser deguda a l'excessiva tensió dels plecs, ja que moltes de les persones que tenen una harsh voice tendeixen a iniciar la fonació amb atacs glotals. També hi ha evidències que les</p>

	persones amb aquest tipus de veus parlen amb un to de veu normalment més baix pel seu mecanisme vocal (Zemlin, 1964. Citat per Laver, 1980)
Breathiness (entretallada)	<p>-La forma de vibració dels plecs vocals és ineficient, i és acompanyada d'una lleugera fricció audible.</p> <p>-L'esforç muscular és lent i com a conseqüència la glotis es manté una mica oberta al llarg de tota la seva llargada, per tant els plecs vocals mai s'ajunten al centre de la línia.</p> <p>-Hi ha una relació inversa entre la intensitat de la veu i la veu aspirada (breathiness) (Pronovost, 1942. Citat per Laver, 1980).</p>

3. MECANISME DE PRODUCCIÓ DEL FORMANT DEL CANT

Quan cantem o parlem, la forma del tracte vocal canvia i es produeixen variacions en la seva longitud. La forma del tracte vocal varia depenent de la posició i de la dimensió de la constricció (acció de cloure estrenyent) per tota l'extensió del tub (Sundberg, 1977; 1987). La forma del tracte vocal està determinada pels moviments dels articuladors; les obertures del llavi i de la mandíbula, la posició de la llengua i l'alçada velar i laríngia. Els moviments articuladoris són molt complexes i un moviment de qualsevol articulador afecta, generalment, a les freqüències dels formants (Sundberg, 1987). La precisa relació entre aquests moviments articuladoris i les característiques acústiques del senyal resultant descrit inicialment per Fant (1960), ha estat una àrea de gran interès en la parla i en el cant.

Els cantants occidentals amb una tècnica vocal clàssica, manipulen els seus articuladors de forma diferent segons canten o parlen (Bartholomew, 1934). Als cantants els ensenyen a cobrir la veu, aconseguint d'aquesta manera una ampliació del tall transversal de la faringe, gairebé com si badallessin i cantessin al mateix temps. Alguns professors de cant descriuen aquesta configuració vocal com la sensació de mantenir un ou dins la boca mentre es canta. Això dona lloc a una qualitat de la veu més fosca que la que es produeix quan es parla (Vennard, 1967; Hines, 1990). Sundberg (1970) es va interessar en determinar com afectaven aquestes alteracions del tracte vocal a les freqüències dels formants durant el cant.

Sundberg (1970) va estudiar els moviments articuladoris mitjançant imatges de rajos X del tracte vocal i va relacionar aquests moviments amb les freqüències dels formants produïdes. Es van realitzar imatges del tracte vocal sencer, incloent els llavis i la glotis, així com la part frontal de les vèrtebres cervicals, mentre es mantenien vocals cantades i parlades. Aquestes imatges de rajos X van ser examinades i relacionades amb la intensitat de les vocals i la freqüència dels formants. En general, les vocals cantades es van caracteritzar per una major intensitat que les parlades. Aquesta diferència podria estar relacionada amb l'obertura de la mandíbula i la posició de la laringe. Es va veure que l'efecte major de l'obertura de la mandíbula es produïa en el primer formant.

Les imatges de rajos X de la laringe que van ser preses mentre es cantava la vocal [a] van mostrar una posició de la laringe més baixa, i una considerable expansió del ventricle laringi i de les cavitats piriformes mentre es cantava però no durant una conversa. Sundberg va suggerir que una posició baixa de la laringe provocava una disminució de la freqüència del segon formant de les vocals anteriors cantades. La freqüència del tercer formant de les vocals posteriors es va incrementar mentre es cantava degut a una disminució de la dimensió de la cavitat que es forma darrera els incisius i a un increment de la dimensió de la part posterior de la cavitat oral. La freqüència del quart formant disminuïa en les vocals posteriors degut a que la posició de la laringe era més baixa quan es cantava que quan es parlava. Aquests canvis van donar lloc a una disminució de la distància entre les freqüències del tercer i quart formants. Finalment, Sundberg va suggerir que les disminucions de les freqüències del tercer i quart formant trobades en les vocals anteriors cantades és també un efecte de l'abaixament de la laringe així com també d'un increment de la protuberància del llavi. Sundberg va concloure que la manipulació de l'obertura de la mandíbula i l'abaixament de la laringe donaven lloc al formant del cant.

En un segon estudi, Sundberg (1973) va puntualitzar que el formant del cant estava caracteritzat per un creixement més ràpid en intensitat que el que es trobava en la intensitat de l'espectre global. Aquesta va ser una investigació més recent en la relació no lineal entre la veu i el tracte vocal on Sundberg va fer la hipòtesi que el formant del cant podria ser atribuït a l'espectre de la veu, a la funció de transferència del tracte vocal, o ambdós. Es va portar a terme una investigació amb cantants professionals per tal d'examinar l'impacte de la font i el filtre en el nivell del formant del cant.

Un grup de cantants amb tècnica vocal van mantenir les vocals [a], [i] i [u] de forma cantada i parlada, a quatre tons diferents però amb la mateixa distància entre ells, i a quatre intensitats diferents; piano, mig piano, mig fort i fort. Sundberg (1973) va investigar la relació entre el nivell general de pressió sonora (SPL) i l'SPL del formant del cant en funció de la intensitat vocal i el to. Els resultats de l'anàlisi espectral de les vocals cantades van mostrar que quan incrementava l'esforç vocal, l'amplitud dels parcials més alts incrementava si es comparava amb la intensitat dels parcials més baixos. A més a més, quan l'esforç vocal incrementava, el nivell dels parcials més alts, normalment, augmentava més ràpid que el dels parcials més baixos.

Sundberg (1973) va fer la hipòtesi que la balança espectral (la diferència de l'amplitud entre la regió del formant del cant, anomenada com a L3, i la regió de la freqüència del primer formant, anomenada L1) estava determinada per dos factors: les freqüències dels formants i les característiques de l'espectre de la font. Per tal de determinar la incidència de la font de la veu, va comparar l'espectre de vocals cantades amb aquelles generades per un sintetitzador. Es van calcular les diferències entre les vocals cantades i les sintetitzades per tal de determinar si l'espectre de la font dels cantants seguia una caiguda de 12 dB/octava trobada normalment en la veu parlada dels homes (Fant, 1960). Sundberg (1973) va investigar l'efecte de la intensitat vocal en l'espectre de la font tant per les vocals cantades com per les parlades de dos cantants. Un d'ells tenia una "veu fosca" i l'altre tenia una "veu clara". Sundberg va suggerir que per a una quantitat constant, la variació de l'esforç vocal no va canviar la pendent de l'espectre de la font. Els parcials més baixos (els situats per sota de 1000Hz) van tendir a incrementar més lentament en amplitud que els parcials més alts (aquells per sobre de 1000Hz) mentre que la intensitat vocal incrementava quant es cantava. Sundberg també va assenyalar que el nivell del

formant del cant incrementava més ràpidament que el nivell del primer formant quan incrementava la intensitat vocal. Es van trobar efectes similars quan es modificava la freqüència fonamental; una freqüència fonamental incrementada donava lloc a menys canvis en la intensitat del primer formant que en el nivell del formant del cant.

Sundberg (1973) va trobar que en els cantants el promig de l'espectre de la font de les vocals cantades i parlades era bastant similar. És a dir, l'amplitud dels parcials més baixos en relació amb l'amplitud dels parcials més alts era més feble en les vocals parlades fortes que en les vocals parlades normals. Com que l'esforç vocal en el cant no diferia d'aquell produït en la parla tal com es mostra en l'espectre de la font d'aquest estudi, Sundberg va concloure que els cantants utilitzaven un tipus similar de font tant en la veu parlada com en la veu cantada, i aquest tipus de font podia ser més aviat generada per una articulació especial que per una vibració diferent dels plecs vocals. Sundberg també va comparar les seves dades amb les d'altres estudis en els quals es va investigar cantants sense tècnica vocal (per exemple, Lindqvist, 1970; Fant, 1960) i va trobar que quan els cantants sense tècnica vocal parlaven, l'eficiència vocal estava limitada en una petita gamma d'intensitats i tons. Això contrasta amb l'espectre de la veu de cantants amb tècnica vocal, on increments de la intensitat vocal i del to incrementen el nivell dels formants més alts, per exemple el formant del cant. Sundberg va concloure que la font de la veu és diferent entre veus amb tècnica vocal i veus sense tècnica vocal.

En aquest estudi (Sundberg, 1973), va simular un model físic del tracte vocal per tal de comparar el senyal acústic obtingut del model amb el senyal acústic generat pel sintetitzador. Els resultats de la comparació van mostrar que les funcions de transferència (funció en el domini s que relaciona l'entrada i la sortida) eren similars tan pel model com pels senyals sintetitzats. A més a més, en un estudi previ de Sundberg (1970), l'examinació de les imatges dels rajos X frontals de la laringe durant la producció de la vocal [a] parlada i cantada per part d'uns cantants amb tècnica vocal, va mostrar un abaixament de la laringe, una expansió del sinus de Morgagni (ventricle laringi) i dels sinus piriformes en la vocal cantada. Sundberg (1973) va fer la hipòtesi que l'expansió del sinus de Morgagni i dels sinus piriformes tenia incidència en el formant del cant d'alguna forma; per tant, va simular el tracte vocal per tal d'incloure el sinus de Morgagni expandit i el sinus piriforme. La comparació de les funcions de transferència obtingudes del model del tracte vocal va indicar que les funcions de transferència compreses en el formant del cant eren equivalents a aquelles obtingudes en el sintetitzador. Aquest resultat va permetre a Sundberg (1974) fer la hipòtesi que el formant del cant és un formant extra al voltant de les freqüències dels formants tercer, quart i cinquè, que es produeix quan la laringe s'abaixa i la part de la faringe situada sobre la part inicial de la laringe s'expandeix. Aquest efecte podria justificar la interacció no lineal de la veu i el tracte vocal.

Sundberg (1974) va investigar la seva hipòtesi amb la simulació d'un tracte vocal masculí. La forma del tracte vocal va ser modelada en tomografies generades per Fant (1960) en les quals es van estimar les dimensions de la posició més baixa del tub de la laringe. Sundberg va definir el tub de la laringe com un petit tub per sobre dels plecs vocals que és inserit verticalment en el tub de la faringe. El tub de la laringe va ser modelat com a un ressonador doble amb un tub més ample a la part inferior del final (el sinus de Morgagni) i un tub més estret i més llarg per sobre dels sinus. Les dimensions del tub de la laringe eren de 6 cm de llarg amb una àrea de secció transversal d'1cm. Aquest tub va ser inserit

en el tub faringi el qual estava format per un tub cilíndric de bronze que estava tancat en un extrem.

El primer dels experiments de Sundberg (1974) es va realitzar amb la intenció d'investigar els efectes de la posició més baixa de la laringe en el tub de la faringe. Els resultats van mostrar que quan la laringe s'abaixa, la part de la faringe situada sobre la part inicial de la laringe és ampliada. A més a més en estudis previs, Sundberg (1974) va confirmar que quan es cantava i, per tant, s'ampliava la faringe mentre la laringe s'abaixava, l'àrea de la secció transversal del tub de la faringe era sis vegades més gran que l'àrea oberta del tub de la laringe. Per tant, el tub de la laringe actua com a ressonador independent de la faringe i, a més a més, genera el formant del cant al voltant de 3000Hz.

A part d'això, Sundberg (1974) va assenyalar que quan la freqüència fonamental incrementava, s'expandia, normalment, l'àrea de l'obertura del tub de la laringe. Aquesta expansió de l'obertura del tub de la laringe podria afectar la relació de l'obertura del tub de la laringe amb l'àrea de la secció transversal del tub faringi que genera el formant del cant. En el següent experiment, Sundberg va simular (1974) la dimensió de l'obertura del tub de la laringe a una freqüència fonamental diferent i es va mesurar la sortida del model del tracte vocal. Els descobriments mostraven que quan la freqüència fonamental incrementava, l'obertura del tub de la laringe incrementava obtenint un increment de la freqüència de ressonància del tub de la laringe. Tal com s'indicava anteriorment, per tal de generar el formant del cant, l'àrea de la secció transversal del tub faringi havia de ser sis vegades més gran que l'àrea oberta del tub de la laringe per tal que el tub de la laringe pogués ser acústicament independent del tub faringi. Quan la freqüència fonamental incrementava, això no passava i el tub de la laringe no podia esdevenir un ressonador independent.

Sundberg (1974) va fer la hipòtesi que per tal de generar el formant del cant a una freqüència fonamental alta, el tub de la laringe havia de ser a un ressonador independent. Sundberg a més a més va suggerir que el sinus de Morgagni podria tenir una gran incidència en el fet de contrarestar el canvi de l'obertura de la laringe relativa a la faringe a una freqüència fonamental més alta. Això va permetre el següent experiment en el qual Sundberg va simular el sinus de Morgagni i després va mesurar la sortida del model del tracte vocal. El petit tub que actuava com a laringe va ser inserit en un tub faringi més gran i el volum del tub de la laringe va ser variat quan el sinus de Morgagni simulat va ser expandit. Es van fer una altra vegada comparacions entre el model de sortida i les freqüències del formant derivades de les equacions de Fant de la ressonància del tracte vocal (1960). La concordança entre els formants calculats i els mesurats indicava que canvis en la dimensió de l'obertura del tub de la laringe podrien ser superats per l'expansió del sinus Morgagni, i que l'expansió del sinus Morgagni podria ser afectada per l'abaixament laringi. Sundberg va concloure que mentre es cantava, el sinus de Morgagni s'expandia per tal de compensar l'increment de l'obertura del tub de la laringe causat per l'increment de la freqüència fonamental. Aquesta expansió permetia al tub de la laringe actuar com a ressonador amb una freqüència de ressonància de 3kHz. A més a més l'expansió del sinus de Morgagni s'aconseguia normalment per un abaixament de laringi.

A més a més de la contribució del sinus de Morgagni per la generació del formant del cant, Sundberg (1974) va informar que les tomografies van mostrar que tant l'àrea transversal com la longitud dels sinus piriformes s'incrementava quan la laringe

s'abaixava. En l'experiment final, els sinus piriformes es van simular en base als descobriments de les tomografies (Fant, 1960). Els sinus piriformes es van simular per un o dos tubs cilíndrics que podien variar en longitud i diàmetre. Aquests tubs eren inserits paral·lelament al tub de la laringe, a l'extrem tancat d'un gran tub faríngi. Els resultats del model de sortida van correspondre amb les freqüències del formant derivades de les equacions de la ressonància del tracte vocal (Fant, 1960). Sundberg va concloure que la laringe abaixada provocava una expansió dels sinus piriformes i una expansió del tub de la faringe. Sundberg a més a més va suggerir que els sinus piriformes es podien interpretar com un increment de la llargada de la faringe. Aquest increment de la llargada faríngia provocava que la freqüència del cinquè formant baixés considerablement mentre la freqüència de ressonància del tub de la laringe es mantenia al voltant dels 3 kHz.

Tot i que Sundberg (1974) suggeria que el formant del cant només apareixia quan s'abaixava la laringe, diverses investigacions d'altres estils de cant refutaven aquesta afirmació (Wang, 1985; Sengupta, 1990). Per exemple, Wang (1985) va estudiar els cantants d'òpera xinesa i va trobar el formant del cant amb una laringe elevada, no obstant, Sundberg (2003) no va trobar el mateix resultat en la seva investigació d'un cantant d'òpera xinesa. Els estudis de Sengupta's (1990) de cant clàssic del nord d'Índia també han discrepat amb els suggeriments de Sundberg sobre la posició de la laringe i el formant del cant perquè els cantants de l'Índia generaven el formant del cant sense abaixar la laringe.

Per tal de resoldre el conflicte dels descobriments de Sundberg i els d'altres investigadors sobre l'alçada de la laringe i el formant del cant, Detweiler (1994) va investigar el sistema laringi a través d'imatges de ressonància magnètica (MRI), d'una videolaringoscòpia estroboscòpica, i d'un anàlisi acústic. Es van investigar tres cantants masculins amb tècnica vocal (un tenor i dos barítons). El principal focus de l'estudi de Detweiler (1994) va ser determinar si el formant del cant era generat realment només quan l'àrea transversal de la sortida laríngia era sis vegades més petita que el tub de la faringe. Un altre focus de l'estudi de Detweiler era investigar l'efecte del ventricle laringi (el sinus de Morgagni) sobre el formant del cant. Es va utilitzar una videolaringoscòpia endoscòpia per tal d'examinar l'àrea transversal de la sortida de la laríngia i la laringofaringe durant la fonació i es van capturar imatges de la laringe amb imatges de ressonància magnètiques (MRI). A més a més, es van utilitzar anàlisis acústics per tal de determinar la presència del formant del cant.

Els resultats de la revisió de les MRI i de la revisió laringoscòpia van mostrar que la ràtio de l'àrea transversal entre la sortida de la laringe i de la faringe anava dels 2.9:1 als 3.7:1, de tal forma que contradeia el model del Sundberg (1974). Les proves corresponents als exàmens de ressonància magnètica i laringoscòpis van mostrar un clar espai ventricular laringi durant la fonació modal, però no per la fonació amb polsos; malgrat tot, l'estudi acústic va mostrar que ambdues condicions de cantar van demostrar el formant del cant. Detweiler (1994), per tant, va concloure que el sinus de Morgagni no era la causa clara del formant del cant. Per altra banda, els resultats de la posició laríngia vertical obtinguts de les MRI van mostrar que el sinus de Morgagni es comportava de forma diferent que el que havia suggerit Sundberg. Detweiler (1994) va concloure que el model de Sundberg era insuficient per explicar el formant del cant per els tres subjectes que havia estudiat.

Detweiler (1994) va mantenir la seva hipòtesi utilitzant tres anàlisis diferents, però hi havia algunes qüestions que encara necessitaven ser reconduïdes. Tot i que els resultats

de l'anàlisi acústic mostraven el formant del cant quan els cantants cantaven en ambdues posicions, supina (ajagut d'esquena) i vertical (per l'avaluació laringoscòpia durant les imatges de ressonància magnètica), és dubtós que els cantants poguessin realment cantar amb les seves "millors veus" mentre estaven en la posició supina. També és necessari preguntar-se si la posició supina afectava la posició de la laringe mentre cantaven, la qual pot explicar les diferències dels resultats entre Detweiler i Sundberg (1974). Detweiler no va especificar com s'identificava el formant del cant en l'anàlisi acústic, a més a més, els resultats d'aquest estudi són difícils d'interpretar. Finalment, es va insinuar que els resultats dels exàmens de les imatges de ressonància magnètica (MRI) i laringoscòpies proporcionaven informació consistent. No obstant, les imatges de ressonància magnètiques (MRI) van ser preses mentre els cantants estaven fonant una vocal diferent ([a]) de la vocal [i] la qual s'utilitzava durant l'examinació laringoscòpia. La comparació dels dos procediments d'examinació física (MRI i estroboscòpia) amb posicions del cos diferents i distintes vocals, fan qüestionar-se a un com aquestes variacions podrien haver influenciat als resultats de l'estudi. Per altra banda, l'estroboscòpia directa també podria haver dificultat als cantants el fet de cantar amb les seves millors veus, per tant és difícil aplicar els resultats de Detweiler a unes condicions de cantar normals.

Titze i Story (1997) també van dirigir un estudi per avaluar el model de Sundberg (1974) sobre els canvis físics i acústics associats al formant del cant. Van utilitzar un model informàtic per investigar com s'ha d'ajustar el tracte vocal per tal que es produeixin les condicions idònies en l'oscil·lació dels plecs vocals. El model es va basar en imatges de ressonància magnètica (MRI) realitzades a homes de 30 anys. La impedància d'entrada (definida com la ràtio de la pressió supraglòtica per l'aire glotal) i la funció de transferència del tracte vocal van ser calculades quan variava la forma del tracte vocal.

Titze i Story (1997) van mostrar que el tub epilaringi (és a dir, la part estreta del ventricle laringi per sobre de la glotis que és equivalent a la definició de Sundberg del tub laringi) influenciava a les freqüències de ressonància del senyal de sortida. Amb una reduïda epilaringi en relació a un tracte vocal uniforme, les freqüències del primer, segon i tercer formants eren empeses cap amunt i les freqüències dels formants quart i cinquè eren empeses cap avall cap a la regió dels 2500-3500 Hz. Quan es van calcular les freqüències de ressonància associades amb un epilaringi, els descobriments de Titze i Story van mostrar que les freqüències dels primers cinc formants estaven afectades i mogudes cap a la regió de freqüències de 2756 Hz. En una segona simulació, Titze i Story van calcular les conseqüències acústiques d'una expansió faríngia. Els seus descobriments van confirmar els resultats de Sundberg (1974) que el tub epilaringi influenciava en la generació del formant del cant. Van concloure que quan la faringe s'ampliava i la ràtio de les àrees transversals de la faringe cap a la epilaringi era de 6:1, el tub epilaringi reduït esdevenia un ressonador independent que provocava un cluster del tercer, quart i cinquè formant, el formant del cant. Aquests descobriments van permetre a Titze suggerir modificacions a la teoria acústica de Fant (1960) de la producció de la parla per Dels estudis comentats fins ara, es pot concloure que el formant del cant pot ser definit com un prominent, el pic de l'evolvent de l'espectre al voltant dels 3 kHz, compostat d'un clúster elevat del tercer, quart i cinquè formant. Quan un cantant de música clàssica abaixa la laringe i expandeix la faringe mentre canta, l'àrea transversal del tub de la faringe és sis vegades més gran que el tub de la epilaringi; per tant, el tub epilaringi esdevé un ressonador independent i genera el formant del cant. A més a més, la depressió laríngia incrementa l'amplada del sinus de Morgagni i provoca una expansió del sinus piriforme el qual manté la freqüència de ressonància del tub laringi al voltant dels 3 kHz. Com que

mentre es canta es produeixen moltes variacions acústiques, és necessari examinar com aquests factors influencien en el formant del cant.

4. FACTORS QUE INFLUEIXEN EN EL FORMANT DEL CANT

Els estudis recents de Sundberg han establert les bases físiques i acústiques de la generació del formant del cant. En aquesta secció, es revisen estudis posteriors que es van centrar en com diferents factors com la tècnica vocal, la classificació de la veu, el to, el volum, i les configuracions de les vocals influeixen en el formant del cant. Les freqüències fonamentals són comuns durant l'execució (interpretació) vocal, per tant Schutte i Miller (1985) van investigar l'efecte de la freqüència fonamental en el centre de la freqüència del formant del cant (Schutte i Miller, 1985). Van demanar a un tenor que cantés la vocal [ɔ] de forma cromàtica per tota la seva extensió vocal, començant per una freqüència fonamental per sota de tessitura normal d'un tenor i continuant a una freqüència fonamental per sobre de la seva tessitura. Es va analitzar la freqüència central del formant del cant de cada nota cromàtica mitjançant un espectre a curt termini, i els resultats van mostrar que el formant del cant apareixia en una regió de 2,200Hz durant la freqüència fonamental més baixa, mentre que la freqüència fonamental més alta tenia el formant del cant més alt, a 3,100 Hz. Schutte i Miller van concloure que dins de la gamma de freqüències investigades, la freqüència del formant del cant incrementava quan la freqüència fonamental incrementava; no obstant, la balança espectral (L3-L1) es mantenia constant al llarg de tota la gamma de la freqüència fonamental. Dins la gamma de freqüència fonamental més utilitzada pels tenors (131 Hz-524 Hz), la balança espectral era aproximadament de 7 dB. Aquests descobriments suggerien que la freqüència del formant del cant variava amb la freqüència fonamental, malgrat la seva intensitat es mantenia constant al llarg de l'extensió vocal del tenor. Per tant, Schutte i Miller van definir el formant del cant com la diferència de 7 dB entre L3 i L1.

L'estudi de Schutte i Miller (1985) va investigar només un cantant però no va especificar com va ser seleccionat per tal que aquest tingués el formant del cant abans que es fessin els anàlisis acústics. No hi havia detalls que indiquessin qui va jutjar que aquest cantant tingués el formant del cant, o si hi havia algun altre anàlisi acústic que indiqués que aquest cantant tenia el formant del cant. Per tant, els seus descobriments no proporcionen una definició general del formant del cant.

Seidner, Schutte, Wendler i Rauhut (1985) van estudiar més a fons l'efecte del formant del cant en la freqüència fonamental i van investigar també els efectes de la qualitat de les vocals i els tipus de veus en el formant del cant. Cinc cantants amb tècnica vocal (3 homes i 2 dones) amb diferents tipus de veus (tenor, baix, baríton, soprano i contralt) van ser inclosos en la seva investigació. Se'ls va demanar que produïssin tres vocals diferents [a], [i], i [u] amb una veu greu. Cada vocal va ser cantada amb quatre notes diferents, do, mi, sol i la, en una extensió de tres octaves. Les dades van incloure el nivell i la freqüència central del formant del cant en funció de la qualitat de la vocal, del tipus de veu i de la freqüència fonamental. Els resultats van mostrar que el formant del cant es desplaçava cap a freqüències més altes quan la freqüència fonamental era alta i era més baix, per una freqüència fonamental baixa; els resultats també van mostrar que no hi havia relació entre la freqüència del formant del cant i el tipus de veu.

Seinder et al. (1985) també van trobar que la balança espectral del formant del cant, mesurada com la intensitat del formant del cant relativa al primer formant, estava afectada pels tipus de veus i era més alta en els cantants que en les cantants. Els cantants amb veus més greus (baix i baríton) van mostrar una balança espectral de -10 dB pel que fa a la qualitat de la vocal, mentre que en el tenor, la balança espectral relativa variava amb la freqüència fonamental i les vocals. Els resultats pel tenor van mostrar que la balança espectral incrementava quan la freqüència fonamental incrementava per totes les vocals ([a], [i], [u]); dins l'extensió del La₃ (440 Hz) al Do₄ (524 Hz), la intensitat relativa més gran del formant del cant (+20dB) la va generar la vocal [a] i la intensitat relativa del formant del cant va decreixer al llarg d'aquesta gamma de freqüència. En les cantants, la contralt va mostrar una intensitat relativa del formant del cant més baixa que l'observada en els cantants, i la soprano va ser la que va mostrar el nivell més baix del formant del cant d'entre tots els tipus de veus. Per altra banda, s'observava una variació del nivell d'intensitat relativa tant amb la freqüència fonamental com en les vocals per a totes les cantants. Posteriorment, aquesta investigació va definir els tres factors principals que afectaven al formant del cant; el tipus de veu, la freqüència fonamental i la qualitat de la vocal.

Cleveland i Sundberg (1985) també van estudiar els efectes de la freqüència fonamental i la intensitat del formant del cant en les diferents classificacions de la veu, així com la influència de la pressió subglòtica en aquests paràmetres. Tres cantants amb tècnica vocal (baix, baríton i tenor) van utilitzar tres nivells d'intensitat (forte, mezzo-forte i piano) i tres tons diferents (alt, mig i baix) mentre cantaven l'escala cromàtica amb la vocal [a]. La freqüència fonamental per aquests cantants anava del Mi₂ (165 Hz) al Mi₃ (330 Hz) mentre realitzaven l'exercici. La vocal [a] estava precedida per la consonant [p] per tal que cada pressió subglòtica del cantant pogués ser mesurada des de la pressió oral durant l'oclusió de la [p].

Cleveland i Sundberg (1985) van investigar inicialment la pressió subglòtica en el moment en què els cantants produïen tres tons diferents i a diferents intensitats. Tot i que no es va proporcionar informació per tal de quantificar els nivells de volum dels cantants i la freqüència fonamental, Cleveland i Sundberg van mostrar que els canvis en la pressió subglòtica tenien un efecte fonamental en la intensitat vocal. Quan l'esforç vocal era alt (al forte), la pressió subglòtica era alta i quan l'esforç vocal era baix (al piano), la pressió subglòtica era baixa. Els seus descobriments també van mostrar l'existència d'una relació entre la freqüència fonamental i la pressió subglòtica; quan la freqüència fonamental incrementava, la pressió subglòtica incrementava a tots els diferents nivells d'esforç vocal.

Cleveland i Sundberg (1985) també van suggerir que malgrat la pressió subglòtica era el principal efecte per tal de controlar el nivell de pressió sonora (SPL) vocal, la intensitat (la percepció del nivell vocal) estava afectada per altres factors tals com la distància relativa dels parcials, l'amplitud i la freqüència del formant. Van trobar que el cantant amb la tessitura més greu, el baix, utilitzava la pressió subglòtica més baixa malgrat produïa el nivell de pressió sonora més alt (SPL) (mesurat 50 cm de la boca) mentre que el tenor utilitzava la pressió subglòtica més alta, no obstant, produïa el SPL més baix. Cleveland i Sundberg van suggerir que els cantants utilitzaven diferent pressió subglòtica i/o moviment articulatori per tal d'aconseguir certs nivells d'intensitat. A més a més, la mateixa extensió de tons produïda per diferents cantants amb un registre vocal diferent també els podia causar diferents SPL. Cleveland i Sundberg (1985) van plantejar als

cantants que cantessin tons propis de la seva tessitura vocal per tal que generessin SPL similars, en comptes de fer-los cantar el mateix to. És a dir, els cantants amb diferents tessitures vocals necessiten ajustar les seves fonacions de diferent forma per tal de dur a terme diferents registres de freqüències fonamentals, per tant, la pressió subglòtica i el SPL podrien veure's afectats.

En aquesta mateixa recerca, Cleveland i Sundberg (1985) van investigar les relacions entre el nivell del formant del cant i els valors generals del SPL. Van suggerir que el nivell del formant del cant incrementava tant amb la freqüència fonamental com amb l'esforç vocal (nivell d'intensitat alt, mig i baix). Els resultats van mostrar que el baríton generava el nivell més baix del formant del cant i el tenor el més alt. Es va observar també que el SPL i l'amplitud del formant del cant estan molt correlacionats en tots els subjectes; no obstant, no es va descriure la influència específica de l'increment de la freqüència fonamental en el formant del cant.

Cleveland i Sundberg van observar que el nivell del formant del cant incrementava més ràpid que l'amplitud dels parcials en la regió de freqüències més baixes; per tant, van poder concloure que el formant del cant estava més influenciat per la forma del tracte vocal que pel to i la intensitat.

En general, les investigacions revisades suggereixen que el formant del cant està influenciat per la tècnica vocal així com per la tessitura vocal; la veu de baix (en una extensió de 82 a 262 Hz), la veu de baríton (en una extensió de 98 a 330 Hz), la veu de tenor (en una extensió de 123 a 392 Hz) i a vegades la veu de contralt (en una extensió de 220 a 698 Hz) mostren el formant del cant. Sundberg (1977) va arribar a la conclusió que era difícil per les cantants produir el formant del cant ja era gairebé impossible que abaixessin la laringe mentre cantaven en un registre de freqüències altes. Molt pocs estudis han provat directament si les cantants, especialment les sopranos, produeixen el formant del cant. Un estudi que va incloure homes i dones (Seidner et al, 1985) va suggerir que el nivell del formant del cant era més baix per les cantants que pels cantants. Seidner et al. no van especificar la definició del formant del cant ni si les cantants el produïen.

En un altre estudi, l'objectiu del qual era investigar l'efecte de la tessitura vocal sobre el formant del cant, Sundberg (2001) va comparar les diferències entre cinc tessitures de veu diferent, incloent cantants masculins i femenins. Per portar-lo a terme, va utilitzar gravacions comercials enregistrades de 20 cantants de música clàssica amb tècnica vocal (quatre sopranos, quatre contralts, quatre tenors, quatre barítons i quatre baixos). Cada exemple sonor tenia una durada d' aproximadament 30 segons i s'analitzava amb l'espectre promig a llarg termini. Per a cada exemple, es va mesurar la freqüència central i el nivell del formant del cant. Els resultats van mostrar que tant la freqüència com el formant del cant variaven dins i entre les diferents tessitures. Les contralts mostraven la freqüència central més alta del formant del cant (3 kHz, aproximadament). Entre els cantants, els tenors van mostrar el centre de freqüència més elevat (2.84 kHz) mentre que els baixos van mostrar la freqüència més baixa (2.42 kHz) del formant del cant. Per altra banda, els resultats van mostrar que els barítons tenien el nivell més alt del formant del cant. Els baixos i els tenors produïen un formant del cant amb 3 dB inferior al dels barítons, mentre que el de les contralts era de 9 dB menys. La majoria de les sopranos van obtenir dos pics en comptes d'un. Sundberg (2001) va relacionar aquests dos pics amb el tercer formant i el quart i per tant va suggerir que les sopranos no tenien el formant del

cant perquè no es produïa un clúster amb aquests formants. Va concloure que les sopranos no produïen el formant del cant degut a les freqüències fonamentals altes. Aquestes afecten a la distància freqüencial entre parcials, la qual redueix l'energia disponible per l'excitació del tracte vocal, per això les sopranos no tenen formant del cant. Aquests resultats es van confirmar en un estudi fet per Weiss, Brown i Morris (2001). Weiss et al. Van fer un anàlisi espectrogràfic de 10 sopranos cantant 5 vocals [a], [i], [u], [e] i [o] en tres tons diferents; greu (261 Hz), mitjà (622 Hz) i agut (932 Hz). La investigació va mostrar que els pics espectrals per les sopranos anaven de 2.6 kHz a 4.6 kHz cosa que anava més enllà de la definició del formant del cant (al voltant de 3 kHz) suggerida per Sundberg (1970; 1995); per tant, Weiss et al. van concloure que les sopranos no tenien formant del cant.

Els resultats de Weiss et al. (2001) van mostrar que quan una soprano cantava les vocals en un registre mig o greu, hi havia un reforç d'alta freqüència al voltant dels 2.5 kHz, la regió del formant del cant. No obstant, la banda ample d'aquest pic era de 2 a 2.5 vegades més ample que la del formant del cant en els homes (Schute i Miller, 1985). Weiss et al. també van mostrar que quan es cantaven les vocals en un registre agut, no s'havia trobat cap pic d'energia a la regió dels 3 kHz, sinó que es va trobar una forta energia més alta escampada entre els 5 i 8 kHz. Weiss et al. van concloure que l'energia espectral generada per sopranos estava simplement relacionada amb els harmònics de freqüència més alta de la fonamental; per tant, les veus femenines amb una tessitura aguda simplement no necessitaven el formant del cant.

Si es recopilen els resultats de les investigacions revisades fins ara, es pot concloure que el formant del cant està influenciat per la intensitat vocal, la freqüència fonamental, la tessitura vocal i els moviments articuladoris (Fant, 1970; Sundberg 1973; Sundberg; 1977; Schutte i Miller, 1985; Cleveland i Sundberg, 1985; Seidner et al., 1985; Sundberg, 2001; Weiss et al. 2001); no obstant, en aquests estudis, els investigadors rarament han donat detalls específics sobre la definició del formant del cant. Bloothoof i Plomp (1984, 1985, 1986) van reconèixer aquesta mancança i van realitzar una sèrie d'estudis per tal de determinar els criteris específics del formant del cant i els factors que impactaven en la seva generació. Aquests estudis van investigar la relació entre el nivell del formant del cant i el nivell de so general de vocals cantades amb diferents tipus de veus. Bloothoof i Plomp van investigar les interaccions entre el formant del cant i la freqüència fonamental, la intensitat, la forma de cantar (clara, fosca, veu pressionada, tova, etc), la configuració de la vocal, i la tessitura vocal (tenor, baix, baríton, etc).

En aquesta sèrie d'estudis, Bloothoof i Plomp (1984, 1985, 1986) van utilitzar 1/3 de filtres d'octava, amb freqüències centrals de 122 a 4000 Hz, per tal d'aproximar el filtre a l'aparell auditiu. Es va mesurar l'espectre de les vocals cada 10 ms i es va normalitzar mitjançant el nivell general de pressió sonora per tal d'eliminar la variació espectral degut a les diferències de nivell. Diversos cantants (homes i dones) amb diferents tessitures (des del baix fins a la soprano) van cantar nou vocals holandeses. Es van investigar diversos tons cantats ($F_0=98, 131, 220, 392, 659$ i 880 Hz) de diferents maneres (de forma neutral, de forma clara, fosca, tova, etc.).

En el seu primer experiment, Bloothoof i Plomp (1984) es van centrar en els factors que influenciaven la variació espectral mentre es cantava. Van determinar que les variacions de l'espectre de les vocals depenien de factors tals com la qualitat de la vocal, la tessitura vocal, la forma de cantar (clara, fosca, neutral, tova, etc.) i la freqüència fonamental. Van

examinar les interaccions d'aquests factors en els cantants (tan homes com dones). Bloothoof i Plomp van mostrar que la variació espectral estava associada amb les interaccions de tots els factors esmentats anteriorment. Entre aquests factors, la qualitat de la vocal tenia el major efecte en la variació espectral quan la freqüència fonamental era de 98 Hz per homes i 220 Hz per dones. L'impacte de la qualitat de la vocal en la variació espectral era menor quan la freqüència fonamental incrementava tant per homes com per dones. Els resultats van mostrar que la relació entre la variació espectral i la qualitat de la vocal era constant per la freqüència fonamental fins a 392 Hz i disminuïa quan la freqüència fonamental incrementava més enllà dels 392 Hz. En altres paraules, la distinció de la vocal era menor en una freqüència fonamental més alta.

En el següent estudi, Bloothoof i Plomp (1985) van utilitzar les mateixes metodologies i subjectes utilitzats en el primer estudi i van investigar les interaccions entre la freqüència fonamental i el SPL general. Les mesures van ser realitzades a partir de l'espectre obtingut de la mitja de tots els cantants i de les vocals cantades. Els resultats van mostrar que quan la freqüència fonamental incrementava de 98 a 392 Hz, el promig del SPL de les vocals cantades incrementava amb 16 dB per els homes. Per les dones, quan la freqüència fonamental incrementava de 220 a 880 Hz, hi havia un increment en el promig de 22 dB per les vocals cantades. Quan els cantants d'ambdós sexes cantaven a la freqüència fonamental de 392 Hz, els cantants mostraven un SPL general amb 8 dB de més que les cantants.

Bloothoof i Plomp (1985) van indicar que els nivells de so més alts es van trobar en bandes d'1/3 d'octava amb una freqüència central mitjana de 2.5 kHz pels cantants i 3.16 kHz per les cantants. Per tant, van definir la banda de freqüència entre 2.5 kHz i 3.16 kHz com la banda de freqüència del formant del cant. Tot seguit, Bloothoof i Plomp van mesurar el nivell de so en les bandes de freqüència del formant del cant a partir de l'espectre promig i es va comparar el SPL general de les vocals i el nivell de so del formant del cant. Els descobriments van mostrar que pel registre modal dels cantants, el SPL general i el nivell de so del formant del cant incrementava proporcionalment quan la freqüència fonamental incrementava. Pel registre de falset (to agut produït per homes on només s'utilitza una part dels plecs vocals) el nivell de la banda de la freqüència del formant del cant era menor que en el registre modal. En les cantants, incrementant la freqüència fonamental s'incrementava la diferència entre el nivell del formant del cant i el SPL general de la vocal; és a dir, el SPL general incrementava mentre el nivell del formant del cant disminuïa a una freqüència fonamental més alta.

Les recerques també mostraven que les formes de les mitjanes dels espectres i el nivell del formant del cant eren similars tant pels cantants com per les cantants quan la freqüència fonamental era de 220 Hz. Aquesta similitud entre homes i dones es va observar des de la freqüència fonamental als 392 Hz, tot i que els homes utilitzaven un registre de *falset*. Quan la freqüència fonamental era més gran que 392 Hz, les cantants mostraven una disminució de l'amplitud del formant del cant mentre que el SPL espectral general incrementava. Aquestes troballes van fer que Bloothoof i Plomp (1986) estiguessin d'acord amb el que havia suggerit Bartholomew (1934), que el formant del cant era present en les cantants, però que disminuïa quan la freqüència fonamental incrementava per sobre d'una certa freqüència.

En l'últim estudi d'aquest bloc, Bloothoof i Plomp (1986) van investigar el nivell de so del formant del cant i com els cinc factors diferents –qualitat de la vocal, intensitat vocal,

freqüència fonamental, forma de cantar i classificació de la veu- interactuaven per incidir en el nivell del formant del cant. Bloothoof i Plomp van definir el formant del cant a partir del producte d'aquesta investigació. Van utilitzar les metodologies dels dos estudis previs per tal de determinar la variació del nivell de so del formant del cant comparat amb el SPL general de cada cantant com a funció d'una vocal, de la freqüència fonamental, de la classificació de la veu i de la forma de cantar. Altra vegada, es va definir el formant del cant com a un pic entre 2.5 i 3.16 kHz. El nivell de so en aquesta banda de freqüència es va mesurar i normalitzar en relació al SPL general. Els resultats van mostrar que el nivell del formant del cant estava influenciat per les següents interaccions:

Freqüència fonamental i gènere: A una freqüència fonamental de 392 Hz o menys, el nivell del formant del cant era equivalent tan per als cantants com per les cantants; no obstant, el nivell del formant del cant disminuïa quan la freqüència fonamental incrementava per sobre d'aquesta freqüència.

Intensitat vocal: Es va trobar que el nivell de so del formant del cant augmentava quan incrementava la intensitat vocal.

Qualitat de la vocal i freqüència fonamental: Els resultats van mostrar que la magnitud del formant del cant depenia de la qualitat de la vocal. Quan la freqüència fonamental era de 220 Hz, el nivell del formant del cant era baix en els vocals cantades [u] i [ɔ] tant per les dones com pels homes, però el nivell del formant del cant era alt quan es cantava la vocal [i] tant pels homes com per les dones.

El SPL general, la qualitat de la vocal i el registre vocal: Els resultats van mostrar que el nivell del formant del cant incrementava més ràpid amb un increment general del SPL per les vocals [ɔ], [y], i [u]. Aquest efecte era vist per als cantants masculins en el registre modal i per a totes les cantants. No obstant, quan els homes cantaven les mateixes vocals en el registre de falsetto, el nivell del formant del cant incrementava amb menys rapidesa que quan es cantava en el registre modal i amb un SPL incrementat en el seu conjunt. La qualitat de la vocal no influenciava en el formant del cant quan les dones utilitzaven una gamma de freqüència fonamental alta.

Formes de cantar i freqüència fonamental: En el registre modal masculí, el nivell del formant del cant es va mantenir constant en el SPL general de les tres formes de cantar (lleuger, neutral i forta) com a augment de la freqüència fonamental. Per les cantants, el nivell del formant del cant era constant al llarg d'aquests tres modes de cantar quan la freqüència fonamental era de 220 Hz i 392 Hz.

Bloothoof i Plomp (1986) van suggerir que els resultats del nivell del formant del cant es mantenien estables, tant pels cantants com per les cantants, amb dues formes de cantar (neutral i forta), mentre que variava quan es produïa una variació en la qualitat de la vocal, en la freqüència fonamental, en la intensitat vocal i en el registre vocal. Per tant, el nivell mínim de so del formant del cant (-20dB relatiu al primer formant) mesurat a partir dels dos modes es va definir com el llindar del formant del cant. Els dos investigadors van concloure que quan el nivell relatiu de l'espectre d'alta freqüència arribava al voltant dels 2-4 kHz sobrepassava un llindar d'uns -20 dB relatiu al primer formant, i aquest pic es definia com a formant del cant.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Abad Royo, JM.; Abad Marco, A.; Tísner Giraldo, B.; Pérez Sámchez, A. & Chamizo García, JJ. (2003) Trabajo de investigación y clínica aplicada. “Análisis digital de la voz. Conceptes básicos”. O. R. L. Aragón 2003; 6 (2) 13-19.
- Bartholomew, W. T. (1934): “A physical definition of good “voice quality” in the male voice,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 1, 24-33.
- Bloothoof, G. & R. Plomp (1984): “Spectral analysis of sung vowels. I. Variation due to differences between vowels, singers and models of singing”, *Journal of Acoustical Society of America*, 75 (4).
- Bloothoof, G. & R. Plomp (1985): “Spectral analysis of sung vowels. II. The effect of fundamental frequency on vowel spectra”, *Journal of Acoustical Society of America*, 77 (4).
- Bloothoof, G. & R. Plomp (1986): “Spectral analysis of sung vowels. III. Characteristics of singers and models of singing”, *Journal of Acoustical Society of America*, 79 (3).
- Bretos, J & Sundberg, J. (2003): “Measurements of Vibrato Parameters in Long Sustained Crescendo Notes as Sung by Ten Sopranos”. *Journal of Voice*, Vol. 17, No. 3, pp. 343-352.
- Cantero Serena, F. J. (2003): “Fonética y didáctica de la pronunciación”, en Mendoza, A. (coord): *Didáctica de la lengua y la literatura*. Madrid: Prentice Hall.
- Cantero Serena, F. J. (2004): “Comunicació i veu”, a *Articles de didàctica de la llengua i la literatura*, num. 32. (Monografia: veu i locució).
- Detweiler, RF. (1994). An investigation of the laryngeal system as the resonance source of the singer’s formant. *Journal of Voice*, 8(4), 303-313.
- Elgström, E. (2006): “Fonetometria: una proposta de protocol”, *Phonica*, vol. 2.
- Fant, G. (1960): *Acoustic Theory of Speech Production*. The Hague: Mouton.
- García-Tapia, R. & Cobeta, I (1996): *Diagnóstico y tratamiento de los trastornos de la voz*. Editorial Garsi, S.A. Madrid.
- González, J.; Cervera, T. & J.L. Miralles (202): “Análisis acústico de la voz: fiabilidad de un conjunto de parámetros multidimensionales”, *Acta Otorrinolaringológica*, 53 (256-268).
- Hines, J. (1990). *Great singers on great singing*. New York: 5th Limelight Edition.
- Hirano, M. (1981): *Clinical Examination of Voice*. Springer-Verlag Wien. New York.

- Kenny, D. T. & Mitchell, H. F. (2006): "Acoustic and Perceptual Appraisal of Vocal Gestures in the Female Classical Voice". *Journal of Voice*, Vol. 20, No. 1, pp. 55-70.
- Laver, J. (1980): *The phonetic description of voice quality*. Cambridge University Press. Great Britain.
- Lindqvist, J. (1970): "The voice source studied by means of inverse filtering", STL-QPSR 1/1970
- Omori, K; Kojima, H.; Kakani, R.; Slavitt, DH. & Blaugrun, SM. (1997): "Acoustic characteristics of rough voice: Subharmonics." *Journal of Voice*, 11: 40-47
- Rontal, E.; Rontal, M. & Rolnick, M. I (1975): "Objective Evaluation of vocal pathology using voice spectrography". *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*. 84.
- Sengupta, R. (1990). "Study on some aspects of the "Singer's Formant" in north Indian classical singing". *Journal of Voice*, 4 (2), 129-134.
- Sundberg, J. (1970). "Formant structure and articulation of spoken and sung vowels". *Folia Phoniatr.*, 22, 28-48.
- Sundberg, J. (1972): "Articulatory interpretation of the 'singer's formant' ". *J Acoust Soc Am.*, 55, 834-844.
- Sundberg, J. (1973). "The source spectrum in professional singing". *Folia Phoniatr.*, 25, 71-90.
- Sundberg, J. (1977). "The acoustics of singing voice". *Scientific American*, 236 (3), 82-84, 86, 88-91.
- Sundberg, J. (1987): *The science of the singing voice*. Northern Illinois University Press. Dekalb, Illinois.
- Sundberg, J. (2001): "Level and Center Frequency of the Singer's Formant". *Journal of Voice*, Vol15. No. 2, pp. 176-186.
- Titze, I.R. & Story B. H. (1997). "Acoustic interactions of the voice source with the lower vocal tract". *J Acoust Soc Am.*, 101(4), 2234-2243.
- Vennard, W. (1967). *Singing: the Mechanism and the Technique*. New York: Carl Fischer Inc.
- Wang, S. (1985). "Singing voice: Bright timbre, singer's formants and larynx positions". *SMAC83 Conference Proceedings*, Stockholm, 1, 31-322.
- Weiss, R., Brown, W.S Jr. & Morris, J (2001): "Singer's Formant in Sopranos: Fact or Fiction?" *Journal of Voice*, Vol. 15, No. 4, pp. 457-468.

