

**MODIFICACIÓN O AGGIUSTAMENTO  
DE LAS VOCALES ESPAÑOLAS EN EL CANTO LÍRICO**

**VOWEL MODIFICATION OR AGGIUSTAMENTO  
OF THE SPANISH VOWELS IN CLASSICAL SINGING**

PILAR POSADAS DE JULIÁN  
*Conservatorio Superior de Música de Granada*  
pilarpdjulian@gmail.com

*Artículo recibido el día: 02/09/2015*  
*Artículo aceptado definitivamente el día: 02/05/2016*  
*Estudios de Fonética Experimental, ISSN 1575-5533, XXV, 2016, pp. 263-293*

---

## RESUMEN

El presente estudio investiga las modificaciones que sufren las vocales españolas en el canto lírico en diferentes frecuencias y su repercusión en la inteligibilidad. El procedimiento para demostrar estas modificaciones fue la comparación de espectrogramas, empleando la carta formántica y el triángulo vocálico para visualizarlas. Se analizó la voz hablada y cantada de una soprano profesional con el programa MDVP Multi-Dimensional Voice Program modelo 4305B. La señal de voz fue recogida y digitalizada con el equipo CSL (*Computerized Speech Lab*) de Kay Elemetrics. Se compararon, en una primera aproximación, los valores medios de F1 y F2 de la voz femenina (Martínez Celdrán y Fernández Planas 2007) con la voz hablada de la cantante. En una segunda aproximación, se estudiaron las diferencias entre la voz hablada de la soprano y su voz cantada en distintas frecuencias, correspondiéndose cada una de ellas con las tres categorías en las que se divide el *frequency range* de la cantante o *tesitura: registros grave, medio y agudo*, observándose que en las distintas frecuencias cantadas las vocales se sitúan en un punto distinto dentro de la carta formántica. En concreto, en valores altos de F0, *registro agudo*, todas las vocales se acercan a la misma área afectando a la inteligibilidad. Los resultados mostraron que la carta formántica y el triángulo son herramientas que permiten visualizar y aportar datos de interés sobre la modificación vocálica o técnica del *aggiustamento* vocálico en relación a la posición articulatoria de las vocales. Asimismo, el estudio sugiere que la aplicación de esta técnica, empleada en la enseñanza del canto lírico, podría considerarse como uno de los factores que influyen en la inteligibilidad.

Palabras clave: *canto lírico, modificación vocálica, aggiustamento, inteligibilidad, técnica vocal, discriminación vocálica, carta formántica, triángulo vocálico.*

## ABSTRACT

This paper studies vowel modification for the articulation of Spanish vowels in different frequencies in classical singing and their effects on intelligibility. The research investigates vowel modification through comparing spectrograms, using the formant chart and the vowel triangle to visualize the modification. A Spanish soprano's voice was analyzed with the MDVP Multi-Dimensional Voice Program model 4305B. The voice signal was captured and digitalized using CSL (*Computerized Speech Lab*) by Kay Elemetrics. In the first trial, mean values of F1 and F2 for female voice (Martínez Celdrán y Fernández Planas 2007) and the speaking voice of the singer were compared. The second trial studies the soprano's

---

speaking and singing voice at different frequencies (*low, medium and high register*), observing the modification of the vowel sounds in every frequency. Evidence showed that, for different values of F0, vowels were recorded at different positions within the vowel chart. Especially for high values of F0 (*the high register*), all vowels were located in the same area, affecting intelligibility. Data showed that the formant chart and the vowel triangle could be used to visualize vowel modification or the *aggiustamento* technique, both used traditionally in classical singing; the data provide relevant information about a probable position for the articulation of vowels. The present study also suggests that, within the context of the pedagogy of classical singing, the *aggiustamento* technique could be considered one of the factors affecting intelligibility.

Keywords: *classical singing, vowel modification, aggiustamento, intelligibility, vocal technique, vowel discrimination, formant chart, vowel triangle.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El cantante lírico, al aplicar la técnica vocal, ha de enfrentarse a una gran paradoja, puesto que la perceptible falta de inteligibilidad ha de convivir con la deseada *diferenciación vocálica* que se persigue en el canto lírico para hacer inteligible el texto. *La inteligibilidad vocálica en el canto lírico es un aspecto fundamental de la comunicación durante la interpretación* (Gregg y Scherer, 2006). Por ello, la técnica vocal en el canto lírico no sólo busca una «correcta» emisión e *impostación* del sonido sino, entre otros aspectos, ejercitar al cantante para conseguir una buena articulación y dicción (Mansion, 1947:56-68; Posadas, 2008:112-117). El problema reside en descubrir la delicada franja que establece los límites de lo que podría pronunciarse y lo que no sería posible pronunciar en la voz lírica cantada empleando la técnica vocal. Es decir, determinar en qué medida la altura musical y la técnica vocal, influyen en la falta de inteligibilidad. En última instancia, ello podría tener aplicaciones para mejorar o corregir la dicción de los cantantes.

En las últimas cinco décadas, el análisis espectrográfico de la voz cantada ha sido el principal objeto de estudio de distintos investigadores, destacando los trabajos de Howie y Delattre (1962), Morozov (1965) y, desde 1968, las investigaciones de Sundberg (1974, 1975, 1977, 1987, 1997), Sundberg y Gauffin (1982) o Scotti di Carlo (1985, 1991) y sus respectivos colaboradores, donde se relacionan ciertos aspectos de la técnica vocal con las características físico-acústicas de la voz cantada. En estos estudios, según Grácida Olvera (2010:14) *se establecen diversos*

---

*principios de interacción acústica que los cantantes pueden emplear para transformar la calidad de su emisión vocal en función de los elementos fisiológicos que pueden ser detectados en el espectro de la voz cantada.*

En el registro agudo femenino, especialmente en la voz de soprano, se da un fenómeno bastante anómalo con respecto al habla, puesto que, según afirma Sundberg (2000:85), *una soprano suele cantar notas cuyo fundamental (el armónico más grave) tiene una frecuencia muy superior a la del primer formante «normal»<sup>1</sup> de la vocal que se canta.* Es decir, según explica la doctora en Música, Eija Järvelä, en distintas conversaciones mantenidas con la autora de este trabajo, los valores de F0 en el canto, en el registro agudo, son muy superiores a los valores que tendría F1 en el habla, especialmente en vocales cerradas y semicerradas /i, e, o, u/. En este caso, según Sundberg (*ibid.*), *la amplitud del fundamental no es reforzada por el primer formante y el sonido emitido es débil. Abriendo más la boca se incrementa la frecuencia del primer formante, de modo que cuando coincide con la del fundamental su amplitud se refuerza.* Mediante este procedimiento, las sopranos, de manera más o menos consciente, aumentan la apertura de la boca para incrementar la frecuencia de F1 y hacerla coincidir con los valores de F0, permitiendo que el primer formante refuerce la amplitud de F0 provocando que los valores de F1 en la voz cantada sean más cercanos a los de la vocal /a/ en el habla, lo que podría explicar que, auditivamente, sea ésta la vocal que se suele identificar. Este recurso, empleado por las cantantes líricas, de aumentar el descenso de la mandíbula para ajustar F1 con F0 se denomina *sintonía de formante* o *formant tuning* (Sundberg 1974), y ha sido investigado también por Garnier, Henrich, Smith y Wolfe (2010). Ello favorecería la vibración de las cuerdas vocales, haciendo menos dificultosa la emisión de las notas en el

---

<sup>1</sup> Según conversaciones mantenidas entre la doctora Eija Järvelä y la autora de este trabajo, la palabra «normal» aquí haría referencia a los valores habituales de las vocales en el habla. Por tanto, según la doctora en Música, Sundberg estaría comparando *los valores de F0 del canto en el registro agudo con los valores que «normalmente» se presentan en el habla cuando hace tal afirmación.* Esta aclaración es sumamente importante, puesto que si no se tiene en cuenta esta apreciación nos encontraríamos con una paradoja acústica, puesto que F0 no puede ser mayor que F1, como afirman algunos investigadores que no tienen en cuenta dicha consideración.

Como ejemplo de esta paradoja véase Grácida Olvera (2010:22): *Los cantantes tienden a evitar la situación de que «la frecuencia fundamental F0 sea más alta que la primera formante F1». Si la «frecuencia fundamental fuese más grande que F1», la amplitud de la fundamental se reduciría al sobrepasar la frecuencia de máxima resonancia y el nivel de sonido radiado se reduciría también.*

---

registro agudo (Titze, 1988; Sundberg y Skoog, 1997; Titze, Tobias y Popolo, 2008), aunque teniendo, por otro lado, un efecto adverso en la inteligibilidad de las vocales (Gracida Olvera, 2010:15).

Debido a este hecho, algunos investigadores han centrado sus estudios especialmente en valores altos de F0 y su relación con la inteligibilidad (Howie y Delattre, 1962; Morozov, 1965; Sundberg, 1974, 1975, 1977, 1987; Carlson, Fant y Granström, 1975; Carré y Lancia, 1975; Bladon y Lindblom, 1981; Ryalls y Lieberman, 1982; Sundberg y Gauffin, 1982; Klatt, 1982; Assman, Neary y Hogan, 1982; Scotto di Carlo y Germain, 1985; Darwin y Gardner, 1986; Gottfried y Chew, 1986; Assmann y Neary, 1987; Beddor y Hawkins, 1990; Benolken y Swanson, 1990; Percec, 1991; Järvelä, 1991; Hirahara y Kato, 1992; Hirahara, 1993; Rosner y Pickering, 1994; Miller, Schutte, Sulter y Wolf, 1997; Cheveigné, 1999; Hollien, Mendes-Schwartz y Nielsen, 2000; Joliveau, Smith y Wolfe, 2004; Gregg y Scherer, 2006), considerando que a valores más altos de F0 la inteligibilidad disminuye. Las investigaciones acústicas que se llevaron a cabo, relacionadas con el tema de la inteligibilidad en el canto, se realizaron en inglés americano, francés, alemán, sueco y finés. Sin embargo, no se hallaron estudios en lengua española.

Este trabajo centrará su estudio en la voz de soprano, ya que, en general, el problema de la inteligibilidad afecta a las voces femeninas más agudas, en especial la de soprano, puesto que es menos frecuente en voces masculinas, a excepción de la parte más alta del registro. En el estudio realizado por Morosov (1965) sobre la inteligibilidad de sílabas cantadas en distintas frecuencias de fonación por cantantes profesionales, se observó que los problemas de inteligibilidad para identificar las vocales aparecían en las voces masculinas a partir de sol4, es decir, a unos 390 Hz, mientras que en las voces femeninas ocurría alrededor de re5, en torno a los 590 Hz y se incrementaba la dificultad de identificación hasta que por encima de fa5, correspondiente a unos 700 Hz, la inteligibilidad vocálica era una cuestión de pura intuición o acierto. Esto se debe a que hay muy pocos parciales del espectro de las notas altas que pueden proporcionar información al observador sobre la identificación de la vocal analizada (véase también Järvelä, 1991:21). Los estudios posteriores de Gregg y Scherer (2006) confirman los de Morosov (1965), demostrando que la inteligibilidad disminuye al aumentar la altura del sonido y es menor en las voces femeninas que en las masculinas. Sundberg (1982 apud. Cheveigné, 1999:3503) afirma que las vocales cantadas mantenidas conservan cierto grado de inteligibilidad hasta los 520 Hz o incluso hasta los 1000Hz en un contexto consonante-vocal-consonante (CVC).

Los estudios de Smith y Scott (1980 apud. Järvelä, 1991:21) constataron que según el tipo de técnica vocal empleada por los cantantes existen diferencias en la inteligibilidad. Por tanto, la inteligibilidad vocálica dependería no sólo de los valores de F0 sino de la técnica con la que se cantan las vocales (Sundberg, 1987: 176-177).

El presente estudio sugiere que otro de los factores que podrían influir en la inteligibilidad sería la técnica del *aggiustamento* o modificación vocálica. Esta técnica, empleada en la enseñanza del canto lírico, es un recurso que consiste en la modificación, en mayor o menor grado y de manera más o menos consciente por parte de los cantantes, de los *fonos* vocálicos. Esta modificación podría realizarse sólo a nivel fonético, adaptando la posición de los órganos articulatorios, sin que repercuta en la identidad del *fono*, o también a nivel fonológico, cuando el *fono* cantado pierde sus rasgos distintivos convirtiéndose en otro distinto. Es decir, el cantante puede decidir deliberadamente la sustitución de una vocal por otra, o realizar ese cambio vocálico por intuición, sin pensar expresamente en la vocal que desea emitir, pero realizando las modificaciones articulatorias pertinentes para que se produzca la denominada «sintonía del formante», especificada anteriormente. El principal objetivo de la aplicación del *aggiustamento* es mantener el delicadísimo equilibrio necesario entre presión subglótica, liberación del tracto vocal y participación de las zonas de resonancia que aseguran una «correcta» emisión en el canto según las exigencias de la técnica vocal. Sin embargo, aunque es un recurso muy usado en la praxis de la enseñanza del canto, en general, no se aprecia mucha claridad ni unicidad de criterio entre los distintos pedagogos vocales para definir el *aggiustamento*.

Desde el tratado de Tosi (1723 apud. Juarra, 2006), considerado, en opinión de Antonio Juarra como el primer tratado de técnica vocal, aunque de forma embrionaria, así como en los diferentes tratados, libros de pedagogía vocal y escritos de famosos cantantes que le seguirán en el curso de la historia del canto, donde ilustran los fundamentos de la técnica vocal, todos los autores coinciden en que las vocales constituyen el principal vehículo de proyección y emisión del sonido<sup>2</sup> Torrás (1905), Vivaldi (2005), Juarra (1987, 2002, 2006), Coffin (1976, 1980, 1987), Mansion (1947), de Mena (1994), Canuyt (1958), Cuat (2004), Alió (2005), Escudero (1987), Bañó (2003), Fisher-Dieskau y Schad (1990), Perelló y Caballé (1982), Perelló (1982), Miller (1996), Regidor (1999) y Ferrer (2008). Por

---

<sup>2</sup> Cabe destacar, que los tratados que se han analizado para este trabajo de investigación se centran en la técnica vocal a partir del *bel canto*, es decir, a partir del *settecento*, en los que se considera la *voz de cabeza* y no de *falsete*, aunque existen tratados anteriores.

ello, todos los tratados y libros de pedagogía vocal hacen referencia a la emisión de las vocales en el canto, aunque son muy pocos los que tratan específicamente el concepto de *aggiustamento*.

Manuel García, hijo, en su *Tratado completo del arte del canto* de 1847, es el primero que descubre y promulga la ley acústica del *aggiustamento vocalico*. Con ello se refiere al ajuste o modificación que debe realizarse en las vocales para corresponder a las exigencias acústicas de la técnica vocal en función de la altura del sonido, con el fin de preservar su fisonomía y pureza. Esta ley establece que a medida que las notas son más agudas las vocales abiertas se cierran y las vocales cerradas se abren, mientras que cuando se va llegando al registro grave sucede al contrario. (Juarra, 2006:85).

Asimismo, Dietrich Fisher-Dieskau, en su libro *Hablan los sonidos, suenan las palabras* (1985), pone de manifiesto la necesidad de la modificación vocálica en el canto. El autor resalta la dificultad que entraña preservar la «pureza vocal», es decir mantener la identidad de las vocales, puesto que ello implica conservar la distinción entre las vocales anteriores y posteriores en los distintos registros sin perder la unidad de la línea musical (valores de F0), manteniendo, al mismo tiempo, el tracto vocal lo más libre posible durante la emisión vocálica.

*La pureza vocal se establece de forma distinta en las diferentes alturas del sonido, ya que las partes de la cavidad faríngea y bucal que la conforman no deben ejercer una influencia entorpecedora... Los múltiples dualismos del canto empiezan ya con el hecho de que tiene que ponerse de manifiesto el contraste entre la serie de vocales claras (anteriores y medias) y oscuras (posteriores), sin por ello perturbar la unidad de la línea musical (op.cit:410-412.).*

Si existe un alto grado de exactitud acústica con respecto a la emisión de la vocal cantada, se habla en el argot del canto de la denominada «vocal pura» o «pureza vocálica» (Miller, 1996:69; Posadas, 2008:116-117) algo que, como hemos argumentado anteriormente, dependiendo de distintos factores, entre ellos el registro sonoro, valores de F0 y la técnica empleada, no siempre es posible alcanzar, debiendo recurrir el cantante en estos casos al empleo de la técnica del *aggiustamento* o modificación vocálica.

Appelman (1967:90) también cita la modificación vocálica como un objetivo en el *bel canto*. Sin embargo, hemos de señalar que, aunque a nivel práctico todos los grandes maestros de canto aplican esta técnica y en algunos de los tratados

estudiados se habla de ella, la mayoría de los autores presentan una gran confusión desde el punto de vista lingüístico al hacer referencia a las vocales y su modificación en el canto. Se recurre al empleo de grafemas para describir fonemas, no se usa el AFI (Alfabeto Fonético Internacional), y las clasificaciones y descripciones de las vocales realizadas responden a criterios musicales pero no fonéticos, usando un lenguaje metafórico y sinestésico, a través del cual es muy difícil entender en qué consiste esta técnica desde el punto de vista fonético. De los libros de pedagogía vocal y tratados de canto analizados en este estudio sólo los de Vennar (1967), Appelman (1967), Miller (1996) y Coffin (1976, 1980, 1987) emplean el AFI y respetan la terminología propia del ámbito fonético.

Richard Miller (1996:150-159) dedica un capítulo completo a la modificación vocálica deliberada en el canto, ofreciendo una carta de modificación vocálica o *aggiustamento* (op.cit:157), empleando los símbolos del AFI y especificando algunos de los cambios que sufren los *fonemas y/o fonos* en el canto en función de la frecuencia. No obstante, el trabajo más preciso y meticuloso para determinar el grado de modificación vocálica o *aggiustamento* y su aplicación en el canto es el realizado por Berton Coffin, contando con la colaboración del reconocido fonetista Pierre Delattre en su libro *Overtones of Bel Canto* (1980). El pedagogo, mediante su «carta vocal cromática», o Chromatic Vowel Chart (1987), especifica cómo aplicar el *aggiustamento* en los distintos registros de cada tipología vocal y para ello emplea y aplica el AFI. Asimismo, es el único autor que proporciona transcripciones sobre el *aggiustamento* que el cantante podría realizar en distintas obras del repertorio vocal, especificando los diferentes ajustes para cada nota o frecuencia. En la figura 1, por encima del pentagrama, puede observarse la transcripción que ofrece Coffin para la voz de soprano en el *aria de Pamina* de la *Flauta mágica* de Mozart. Por debajo del pentagrama, se ha añadido la transcripción del texto que correspondería al habla.

Como puede apreciarse en la figura 2, el color verde, *aggiustamento vocálico 1*, muestra el *aggiustamento* indicado por Coffin sobre las palabras del texto en cada nota o frecuencia, es decir, el cambio de vocal con respecto al habla. Sin embargo, hay que señalar que, en función de la frecuencia o altura de las notas, Coffin puede proponer en el canto un *aggiustamento* vocálico distinto para la misma palabra, *aggiustamento vocálico 2*, indicado en color rojo.

**Aggiustamento**

*Andante Pamina*

Ach, ich fühl's, es ist ver-schwun-den e-wig  
 ax iç fy:ls ez ist fæ' fʋon dən e: viç

hin der Lie-be Glück, e-wig hin der Lie-be Glück!  
 hin de:e 'li: bæ glhk e: viç hin de:e 'li: bæ glhk

Coffin 1980:91

Figura 1. Aggiustamento vocálico propuesto por Coffin (1980:91) en el aria de Pamina de la Flauta Mágica de Mozart (por encima del pentagrama) y transcripción del texto en voz hablada (por debajo del pentagrama).

**Aggiustamento**

e - wig hin der Lie - be Glück,  
 e i i e i: ə γ

e - wig hin der Lie - be Glück!  
 e i i e i: ə γ

Figura 2. Aggiustamento vocálico 1 en el canto con respecto al habla (color verde); Aggiustamento vocálico 2 en el canto con respecto al habla (color rojo).

## 2. OBJETIVO

El propósito de esta investigación consiste en observar y describir la modificación vocálica o *aggiustamento* que se produce en las vocales españolas en el canto lírico en diferentes frecuencias a través de la carta formántica y triángulo vocálico.

El objetivo final de este estudio sería, mediante el análisis acústico, demostrar unas tendencias que, de corregirse, o dominarse, podrían servir para mejorar y corregir la dicción en la formación del cantante lírico. Para la consecución de nuestro objetivo final nos planteamos responder a los siguientes interrogantes:

1. ¿Se debe el fenómeno de la ininteligibilidad en el canto lírico a una falta de competencia lingüística por parte del intérprete?
2. ¿Existen diferencias notables en las vocales emitidas en voz hablada por un cantante lírico con respecto a los estándares de voz hablada? ¿Cómo se reflejan estos cambios o modificaciones en la carta formántica y el triángulo vocálico?
3. ¿Dónde se sitúan en la carta formántica y el triángulo vocálico las vocales cantadas en las diferentes frecuencias que representan el *registro grave*, *medio* y *agudo* de un cantante profesional con respecto a sus propias vocales habladas?
4. ¿Corresponden las transcripciones fonéticas empleadas en el canto lírico a los sonidos emitidos por el cantante?
5. Teniendo en cuenta que la técnica del *aggiustamento* vocálico empleada en el canto lírico no siempre se realiza de manera consciente y deliberada, ¿podrían servir la carta formántica y el triángulo vocálico como herramientas objetivas para «visualizar» esta modificación?
6. ¿Podría achacarse la falta de inteligibilidad a la técnica del *aggiustamento* o modificación vocálica empleada en el canto lírico?
7. ¿Podrían emplearse la carta de formantes y el triángulo vocálico como herramientas de orientación y corrección en la formación del cantante lírico?

### 3. MATERIALES Y MÉTODO

#### 3.1. Sujeto

El estudio se realizó con una soprano profesional, española nativa (Sevilla), con estudios Superiores de Canto, en la actualidad profesora de canto en Conservatorio Profesional de Música de Málaga y con carrera activa como intérprete. El hecho de usar a una hablante nativa corresponde al deseo de descartar una «mala pronunciación» por insuficiente competencia lingüística como causa de la pérdida de inteligibilidad.

#### 3.2. Equipo

La grabación se realizó con un micrófono Mascot UM-1305D IMPEDANCE 600  $\Omega$  / 20K  $\Omega$  dispuesto a una distancia aproximada entre 15-20 cm de la boca y un ángulo de 30° a 45°.

La señal de voz hablada y cantada fue directamente recogida y digitalizada en el equipo de análisis CSL (*Computerized Speech Lab*) de Kay Elemetrics, donde se encontraba instalado el programa MDVP Multi-Dimensional Voice Program modelo 4305B, en Córdoba en la consulta del Dr. Cantillo Baños, otorrinolaringólogo especialista en voz. La digitalización se realizó con una frecuencia de muestreo de 44100 kHz, que es la empleada habitualmente para el análisis musical (Coca Salazar, 2004; Gracida Olvera, 2010) y una cuantización de 16 bits.

#### 3.3. Método

Se solicitó a la soprano la emisión mantenida en voz hablada y cantada de las sílabas /ga/, /ge/, /gi/, /go/, /gu/, prestando especial énfasis en la pronunciación de las mismas, tanto en voz hablada como cantada en los registros<sup>3</sup> *grave*, *medio* y *agudo*.

---

<sup>3</sup> El «registro» es un término musical que se corresponde con el rango de frecuencias en el que los sonidos son emitidos en voz cantada mediante el mismo mecanismo laríngeo y participan las mismas zonas de resonancia. Éste se subdivide a su vez en 3 categorías:

---

Se tomaron 3 grabaciones de cada vocal en voz cantada y hablada, escogiéndose para cada vocal la de mejor calidad de sonido. En la voz cantada se seleccionaron 3 valores distintos de F0, equivalentes a una nota o frecuencia representativa de cada una de las subcategorías en las que se divide el *frequency range*, que se corresponden con el *registro grave o de pecho*, el *registro medio o central* y el *registro agudo o de cabeza*.

Considerando que en el canto cada una de estas subcategorías dentro del mismo *frequency range* responde a un mecanismo laríngeo y modo de emisión distinto, se solicitó al sujeto que eligiera una nota o frecuencia que le resultara cómoda dentro de cada una de ellas. Los F0 escogidos por la intérprete para este estudio fueron: fa<sup>4</sup>, sib<sup>4</sup>, fa<sup>5</sup>, es decir, 352 Hz, 475 Hz y 704 Hz respectivamente, y la emisión sostenida en el habla 309 Hz.

Se aislaron las vocales y los datos fueron analizados acústicamente con el programa *MDVP Multi-Dimensional Voice Program* modelo 4305B, adaptando algunos parámetros por consejo del Doctor Cantillo Baños, como la frecuencia de muestreo a 44100 kHz, puesto que dicho programa, según el otorrinolaringólogo, está diseñado fundamentalmente para voz hablada, que suele muestrearse a 22050 kHz. Los valores de F1 y F2 se obtuvieron mediante espectrogramas y el empleo de LPC (linear predictive coding) de forma manual, es decir, seleccionando las zonas donde los valores eran más estables y tomando 3 medidas para hallar posteriormente el valor medio de las mismas en cada uno de los formantes de cada vocal.

Para la representación de la carta de formantes que corresponde al triángulo vocálico se tomaron los valores de los formantes F1 y F2 que son los que determinan cada vocal en español.

Los resultados fueron analizados comparando, en primer lugar, la voz hablada de la soprano con los datos de los valores medios españoles para voz femenina (Martínez Celdrán y Fernández Planas, 2007:177), y posteriormente, se compararon las modificaciones reflejadas entre la voz hablada de la soprano y la voz cantada de la misma en los diferentes registros.

---

*registro grave, medio y agudo* donde los valores de F0 de los sonidos emitidos se corresponden respectivamente con frecuencias bajas, medias, y altas.

<sup>4</sup> Los índices acústicos empleados para representar la notas musicales o frecuencias de emisión de este experimento corresponden al sistema de los físicos, donde La<sup>4</sup> equivale a 440 Hz.

El análisis e interpretación de los resultados se realizaron en función de los parámetros F1 y F2. Considerando que F1 es el responsable de la clasificación de vocales en *altas, medias y bajas*, determinando la posición más o menos elevada de la lengua, mientras que F2 clasifica las vocales en *anteriores, posteriores y centrales*, estableciendo la mayor o menor anterioridad articulatoria de la lengua (*op.cit.*).

#### 4. EXPERIMENTO Y RESULTADOS

Tras recoger la señal de voz hablada y cantada de la sopranos española en los registros *grave, medio y agudo*, y su digitalización, se obtuvieron los valores de F1 y F2, los triángulos vocálicos y las cartas formánticas para proceder al análisis intralingüístico e interlingüístico de los mismos.

El análisis e interpretación de los resultados se realizó en función de los parámetros F1 y F2, atendiendo a los criterios de Martínez Celdrán y Fernández Planas (2007), así como a los de Calliope (1989). Considerando, por un lado, que F1 es el responsable de la clasificación de las vocales en *altas, medias y bajas*, es decir, que viene determinado por la posición más o menos alta de la lengua, y por otro, que F2 clasifica las vocales perfectamente dentro de los rasgos *anterior, posterior y central*, por lo que está relacionado con la mayor o menor anterioridad articulatoria de la lengua durante su producción (Martínez Celdrán y Fernández Planas, 2007:175-176), coincidiendo pues con Calliope (*op.cit:*82), que expone que el aumento de F1 puede interpretarse como el resultado de una abertura articulatoria y el aumento de F2 como una anteriorización de la articulación. La orientación de los ejes para representar F1 y F2 se ha dispuesto, como indica Calliope (*ibid.*), con el vértice del triángulo hacia abajo, puesto que este triángulo tiene la forma del *triángulo articulatorio* de la fonética clásica. Según el autor, este triángulo articulatorio representa aproximadamente la posición media de la lengua en la cavidad bucal según los ejes anteroposterior y de abertura, pudiendo localizarse: concentrada hacia la zona anterior, como en la [i]; hacia la zona central, en posición baja y extendida, lejos de paladar, como en la [a]; o concentrada hacia la parte posterior del velo, como sucede en la [u].

**4.1. Estudio espectrográfico de las vocales en voz cantada y hablada de soprano española**

*4.1.1. Estudio comparativo de la voz hablada de soprano española y valores medios de la voz femenina en el habla de las vocales españolas.*

Al analizar los valores de F1 y F2 en la voz hablada del sujeto, y tomando como referencia la carta de formantes de las vocales españolas en la voz femenina de Martínez Celdrán y Fernández Planas (2007:177) para voz hablada, observamos que la vocal [o] se desplaza, a una posición mucho más baja y central dentro de la carta formántica y el triángulo vocálico, ya que los valores de F2 en esta vocal aumentan más de 600 Hz con respecto a los valores medios de la voz femenina hablada de Martínez Celdrán y Fernández Planas (*ibid.*), y F1 algo más de 100 Hz, lo que podría significar una posición más adelantada y más baja de la lengua de la soprano con respecto a la voz femenina en general (figura 3), salvo error de medición.

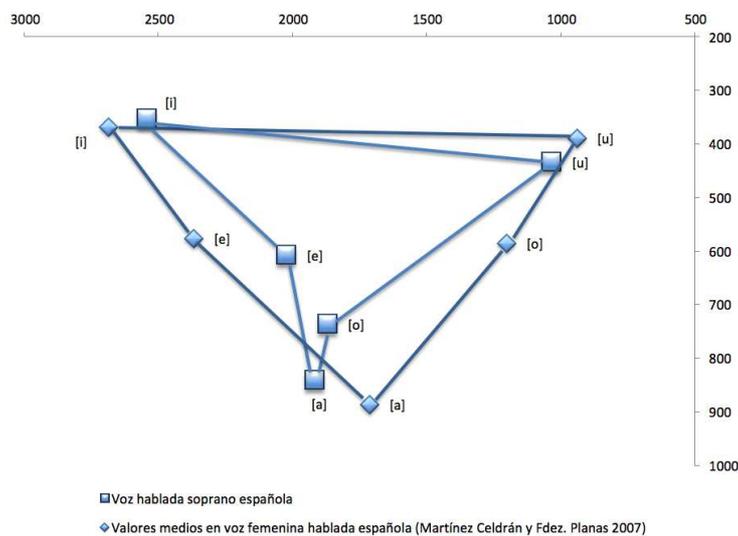


Figura 3. Comparación de la voz hablada de soprano y valores medios de la voz femenina en las vocales españolas (Martínez Celdrán y Fernández Planas, 2007).

4.1.2. Estudio comparativo de la voz hablada de soprano española con la voz cantada en «registro grave» de la misma hablante.

En la comparación de la voz hablada de soprano con la voz cantada en *registro grave* de la misma hablante, considerando los valores de la tabla 1, se aprecia un notable desplazamiento de todas las vocales con respecto a la posición que ocupaban en la carta formántica de la voz hablada de la soprano, a excepción de la [u], cuya ubicación es próxima a la de voz hablada (figura 4).

Vocales	Voz hablada soprano española (F0:309Hz)		Voz cantada soprano española <i>registro grave</i> (F0:352Hz)	
	F1	F2	F1	F2
i	353,52	2542,3	362,45	2013,44
e	608,42	2020,59	403,45	1788,62
a	841,96	1916,33	611,8	1229,78
o	736,3	1867,89	519,42	1177,72
u	434,26	1031,24	461,12	1124,97

Tabla 1. Valores de la voz de soprano española hablada y voz cantada en «registro grave» de la misma hablante.

En la vocal [i], los valores de F2 disminuyen 528,86 Hz, lo que podría sugerir una menor anteriorización articuladora de lengua, aproximándose a los valores de F2 de vocales centrales como la [a]. El cambio de valor en F1 no es significativo, por lo que se mantiene la posición alta en esta vocal.

Los valores de F1 en la vocal [e] cantada disminuyen notablemente en 204,97 Hz, lo que podría indicar una posición más alta de la lengua o menor apertura. También se modifican los valores de F2, disminuyendo 231,97 Hz, por lo que se observa una posición más central y más alta de esta vocal en la carta de formantes y el triángulo vocálico, indicando, posiblemente una menor anteriorización articuladora. La localización de la vocal [o] en la carta de formantes varía significativamente, ubicándose en un punto mucho más alto y posterior en voz

cantada con respecto a la voz hablada. F2 y F1 disminuyen 690,17 Hz y 216,88 Hz respectivamente en voz cantada, lo que podría sugerir una mayor posteriorización en la articulación de esta vocal y una menor apertura con respecto a la emisión hablada. La vocal [a] se desplaza situándose más próxima a las vocales posteriores, adoptando una posición mucho más alta en la carta de formantes. F2 y F1 descienden 686,55 Hz y 230,16 Hz respectivamente. Por tanto, podría indicar una menor apertura y posteriorización articulatoria para su producción con respecto al habla. En este *registro*, únicamente la vocal [u] mantiene una ubicación próxima a la emisión hablada en la carta de formantes y triángulo, descendiendo y adelantándose ligeramente, lo que podría indicar una pequeña modificación en la posición más baja y anterior de la lengua.

En general, con respecto al habla, en el triángulo de la voz cantada del *registro grave* se aprecia una notable reducción del espacio vocálico, manteniéndose sólo dos categorías en el eje de localización anteroposterior [i, e] vs. [a, o, u]. En cambio, el número de ejes de apertura se amplía, posiblemente, para conservar la oposición vocálica. Asimismo, se observa un claro desplazamiento del triángulo hacia la parte posterior.

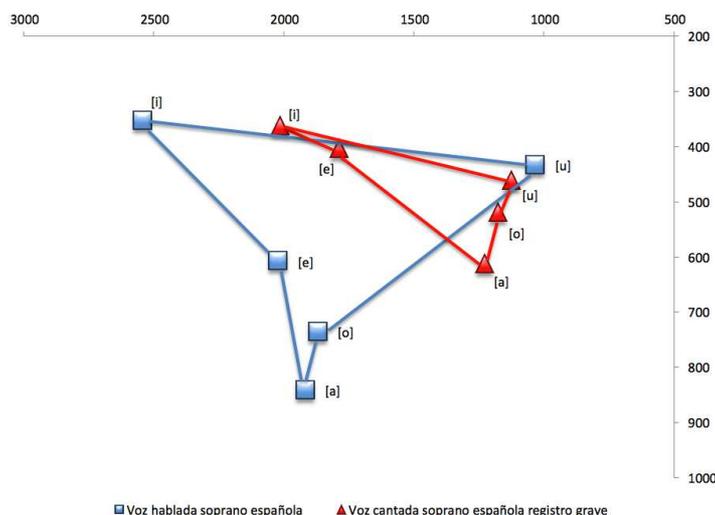


Figura 4. Comparación de la voz hablada de soprano española con la voz cantada en registro grave de la misma hablante.

4.1.3. *Estudio comparativo de la voz hablada de soprano española con la voz cantada en «registro medio» de la misma hablante.*

En la comparación de los valores de la voz hablada de la soprano española con la voz cantada en *registro medio* de la misma hablante (tabla 2), también se aprecian modificaciones en los valores de las vocales cantadas con respecto a las vocales habladas. Al igual que ocurría en el *registro grave*, es en el caso de la [u] donde los valores permanecen más próximos en los dos tipos de emisión (figura 5).

La [i] disminuye en los valores de F2 en 675,18 Hz y F1 aumenta en 133,54 Hz, lo que sitúa a la vocal en una posición más baja y central de la carta formántica y del triángulo vocálico. Esto podría indicar una menor anterioridad articuladora de la lengua y mayor apertura para su producción con respecto a la emisión hablada.

Según los valores obtenidos en los formantes de la vocal [e] en lengua cantada en *registro medio*, dicha vocal se sitúa muy cercana a la [i] cantada, casi en el mismo lugar, lo que podría reflejar que la posición de la lengua sería prácticamente la misma a la adoptada para emitir la vocal [i] cantada en este registro, variando ligeramente la apertura. La [e] experimenta un descenso en los valores de F2 de 174 Hz, y en F1 de 107,92 Hz, lo que conllevaría una variación notable de posición con respecto al habla, para situarse en un lugar central y alto dentro de la carta formántica y del triángulo. Esto podría indicar que para su producción se ha realizado una articulación con menor anteriorización de la masa lingual y menor apertura o posición más elevada de la lengua.

Los valores de [a] también se alteran en voz cantada, F2 experimenta un descenso de 108,39 Hz y F1 disminuye 109,87 Hz, lo que sitúa a la [a] cantada en una posición más alta y ligeramente posterior de la carta formántica y el triángulo con respecto al habla. La lengua en la emisión de esta vocal podría, por tanto, haber adoptado una posición más alta, experimentando también una ligera posteriorización articuladora.

La vocal [o] cambia a una posición posterior y mucho más alta en la carta formántica y el triángulo con respecto a la voz hablada del sujeto, puesto que F2 disminuye considerablemente en 861,18 Hz, lo cual nos llevaría a pensar que la masa lingual se concentra hacia la zona velar. F1 desciende en 159,76 Hz, pudiendo indicar una posición más alta de la lengua o menor apertura con respecto a la voz hablada. La [o] ocupa un lugar muy próximo en la carta de formantes y triángulo en relación a la vocal [u] en el *registro medio* cantado, situándose casi en el mismo eje anteroposterior, oponiéndose tan sólo por la apertura.

Los cambios de la vocal [u] en lengua hablada y cantada del sujeto no son muy significativos, ocupando la vocal cantada una posición ligeramente más baja en la carta formántica y el triángulo, ya que F2 disminuye sólo 4,46 Hz y F1 aumenta 72,73 Hz. Esta vocal parece mantener la misma posteriozación articulatoria que en el habla.

En rasgos generales, los aspectos más destacables en el *registro medio* son:

1. La vocal [a], que en el *registro grave* se agrupaba con las vocales posteriores, ahora se agrupa con las anteriores.
2. Las vocales [o, u], que en el *registro grave* presentaban un mayor grado abertura que [i, e], muestran, en el *registro medio*, casi el mismo grado de abertura que éstas últimas. Estos datos podrían indicar que se mantiene sólo una doble oposición en el eje de abertura: vocales cerradas [i,e,o,u] vs. vocal abierta [a], siendo un poco más dudosa la posición de [o].

Estos dos rasgos contribuyen a que el triángulo vocálico del *registro medio* posea una forma muy diferente al del *registro grave*, a pesar de tener un tamaño parecido y ocupar una zona muy similar, (aunque ligeramente más abierta) en la carta de formantes.

Vocales	Voz hablada soprano española (F0:309Hz)		Voz cantada soprano española <i>registro medio</i> (F0:475Hz)	
	F1	F2	F1	F2
i	353,52	2542,3	487,06	1867,12
e	608,42	2020,59	500,5	1846,59
a	841,96	1916,33	732,09	1807,94
o	736,3	1867,89	576,54	1006,71
u	434,26	1031,24	506,99	1026,78

Tabla 2. Valores de la voz de soprano española hablada y voz cantada en *registro medio* sib4 de la misma hablante.

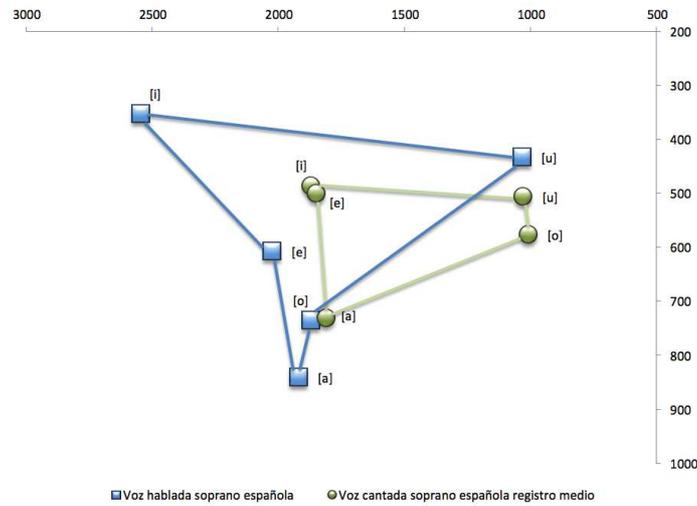


Figura 5. Comparación de la voz hablada de soprano española con la voz cantada en registro medio de la misma hablante.

#### 4.1.4 Estudio comparativo de la voz hablada de soprano española con la voz cantada en «registro agudo» de la misma hablante.

Como puede observarse en los datos de F1 y F2 recogidos en la tabla 3, todos los valores se acercan numéricamente en la voz cantada, situándose en torno a un área de altura media y disposición central, muy próxima a la vocal [o] emitida en voz hablada por el sujeto (figura 6). Se reducen al máximo los ejes, por lo que no existe oposición vocálica.

La [i] desciende significativamente, puesto que F2 disminuye en 651,67 Hz, pudiendo indicar que la lengua se sitúa en una posición menos avanzada que en el habla. F1 aumenta en 371,56 Hz, por lo que se podría deducir que la lengua ocuparía una posición notablemente más baja con respecto a la vocal hablada.

Los valores obtenidos en la vocal [e] nos podrían llevar a considerar un ligero descenso y orientación más central de la vocal en la carta formántica y triángulo.

La [o] del *registro agudo* se sitúa en la carta de formantes y triángulo en una posición ligeramente más alta y avanzada con respecto a la voz hablada.

El cambio más notable se produce en la vocal [a]. Los valores de F2 disminuyen en 176,63 Hz, indicando, posiblemente, una posición lingual más retrocedida con respecto al habla. El valor de F1 en esta vocal desciende ligeramente 19,3 Hz, sugiriendo una posición de la lengua un poco más alta.

En este *registro* la [u] junto con la [i] son las vocales que experimentan más cambios de posición. La [u] adopta un lugar central y mucho más avanzado en la carta formántica y triángulo con respecto a la voz hablada. Ello se debe a que F2 aumenta considerablemente en 934,59 Hz, pasando de una posición posterior de la lengua a una nueva posición que sería mucho más avanzada. Por otro lado, a este significativo cambio contribuyen los valores de F1, que aumentan a 284,02 Hz, sugiriendo una posición de la lengua notablemente más baja con respecto a la voz hablada. Lógicamente, siendo estas dos vocales las más cerradas en el habla, estos cambios podrían responder a la necesidad de una mayor abertura de la mandíbula para la emisión cantada de las mismas.

En el *registro agudo* cabe destacar la agrupación de todas las vocales en torno la zona central del triángulo con respecto al habla. Los ejes de localización antero-posterior y apertura se reducen, restringiendo la oposición vocálica y dificultando la inteligibilidad. La zona central y baja en el triángulo podría indicar que todas las vocales se articulan en el mismo punto, destacando la apertura de la mandíbula y la posición articulatoria central de la lengua, parecida a la de la vocal [a] en el habla, aunque con una posición más alta de la lengua, más cercana al paladar.

Vocales	Voz hablada soprano española (F0:309Hz)		Voz cantada soprano española <i>registro agudo</i> (F0:704Hz)	
	F1	F2	F1	F2
i	353,52	2542,3	725,08	1890,63
e	608,42	2020,59	728,34	1834,14
a	841,96	1916,33	735,55	1739,7
o	736,3	1867,89	716,93	2000,22
u	434,26	1031,24	718,28	1965,83

Tabla 3. Valores de la voz de soprano española hablada y voz cantada en *registro agudo* fa5 de la misma hablante.

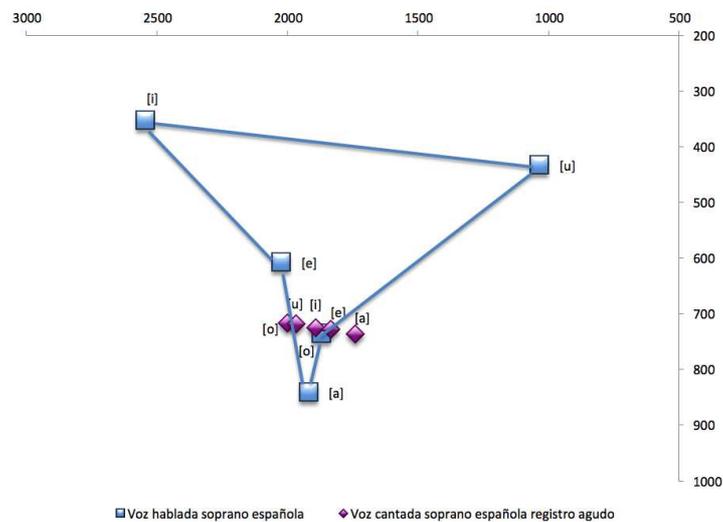


Figura 6. Comparación de la voz hablada de soprano española con la voz cantada en registro agudo de la misma hablante.

#### 4.1.5. Estudio comparativo de la voz cantada de soprano española en los «registros grave, medio y agudo»

En la voz cantada de la soprano española se observan distintas posiciones vocálicas en la carta de formantes para cada uno de los *registros*.

Cabe destacar que en el punto donde se sitúa la vocal [a] en el *registro medio* de la cantante española, se ubican todas las vocales del *registro agudo*. Lo que podría explicar el hecho de que todas las vocales en el *registro agudo* sean percibidas como una [a], afectando notablemente a la inteligibilidad.

Los triángulos de los *registros grave y medio* de la cantante presentan una posición claramente posterior y cerrada del triángulo vocálico, mientras que en el *registro agudo* es notable la centralización del triángulo vocálico. En todos los triángulos de la voz cantada se aprecia una reducción del espacio vocálico con respecto al habla. Esta reducción parece estar relacionada con la altura, alcanzando el mayor grado de reducción en el *registro agudo*. Véase la figura 7.

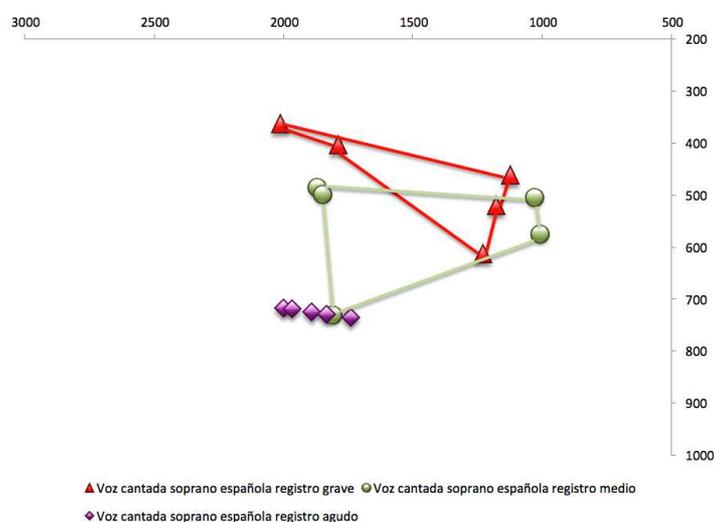


Figura 7. Carta formántica de la voz cantada de la soprano española en los registros grave, medio y agudo.

## 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el análisis intralingüístico de la soprano española:

1. En general, para cada *registro*, los valores de F1 y F2 parecen sufrir modificaciones, observándose una reducción del espacio vocálico en función de altura, experimentándose una mayor reducción a valores más altos de F0. Ello, podría indicar que la posición de los órganos articulatorios, lengua y mandíbula, según los criterios de interpretación del triángulo articulatorio de Calliope (1989), y Martínez Celdrán y Fernández Planas (2007), también ha cambiado en función del *registro* (ver figuras 3, 4, 5, 6 y 7).
2. La vocal en la que se observan menos alteraciones al cambiar de *registro* es la [u], que se mantiene en valores muy próximos en voz hablada en los *registros grave y medio*, aunque es la que experimenta el

cambio más drástico en el *registro agudo*, desplazándose a una posición más baja y central en el triángulo.

3. En general, con respecto al habla, en el triángulo de la voz cantada del *registro grave* se aprecia una notable reducción del espacio vocálico, manteniéndose sólo dos categorías en el eje de localización antero-posterior [i, e] vs. [a, o, u]. En cambio, el número de ejes de apertura se amplía, posiblemente, para conservar la oposición vocálica. Asimismo, se observa un claro desplazamiento del triángulo hacia la parte posterior.
4. En rasgos generales, los aspectos más destacables en el *registro medio* son: a) la vocal [a], que en el *registro grave* se agrupaba con las vocales posteriores, ahora se agrupa con las anteriores; b) las vocales [o, u], que en el *registro grave* presentaban un mayor grado de abertura que [i, e], muestran, en el *registro medio*, casi el mismo grado de abertura que éstas últimas. Estos datos podrían indicar que se mantiene sólo una doble oposición en el eje de abertura: vocales cerradas [i,e,o,u] vs. vocal abierta [a], siendo un poco más dudosa la posición de [o]. Estos dos rasgos contribuyen a que el triángulo vocálico del *registro medio* posea una forma muy diferente al del *registro grave*, a pesar de tener un tamaño parecido y ocupar una zona muy similar, aunque ligeramente más abierta, en la carta de formantes.
5. En el *registro agudo*, todas las vocales se acercan en valores y se concentran en un área central y media del triángulo vocálico o carta de formantes, que coincide justamente con el emplazamiento de la vocal [a] del *registro medio* de la cantante en la carta de formantes y triángulo (ver figuras 6 y 7). Esto podría explicar por qué la inteligibilidad vocálica disminuye considerablemente en el *registro agudo*, identificándose auditivamente casi todas las vocales emitidas como [a].
6. Los triángulos de los *registros grave y medio* de la cantante presentan una posición claramente posterior y cerrada del triángulo vocálico, mientras que en el *registro agudo* es notable la centralización del triángulo.
7. En todos los triángulos de la voz cantada se aprecia una reducción del espacio vocálico con respecto al habla. Esta reducción parece estar relacionada con la altura, alcanzando el mayor grado de reducción en el *registro agudo*.

## 6. CONCLUSIONES GENERALES

Respondiendo a los interrogantes planteados al principio de esta investigación podemos concluir con las siguientes observaciones:

1. El fenómeno de la ininteligibilidad en el canto lírico se produce en la lengua materna, lo que nos induce a pensar que no es consecuencia de una falta de competencia lingüística.
2. En general, no se observan diferencias relevantes en la emisión de las vocales del habla y del canto de la soprano, excepto en la [o]. No obstante, el comportamiento en esta vocal tendría que observarse mediante el análisis de más emisiones para descartar una posible medición errónea.
3. Las posiciones de las vocales representadas en el canto con respecto al habla pueden observarse en las cartas formánticas y triángulos de las figuras 3, 4, 5, 6, y 7.
4. Las transcripciones fonéticas en la tradición del canto lírico no siempre representan los *fonos* que emitirá el cantante. En muchas ocasiones cada intérprete emplea un sistema particular de transcripción, bastante impreciso, y rara vez se emplea el AFI, cuando esto ocurre, las transcripciones que generalmente se emplean se realizan representando los sonidos de la lengua en el habla, sin reflejar las modificaciones que presupone la enseñanza del canto en la voz cantada. Una excepción de ello es el exhaustivo trabajo realizado por Berton Coffin (1976, 1980, 1987) en colaboración con el célebre fonetista Pierre Delattre donde se especifica, empleando el AFI, el posible *aggiustamento* o modificación que pueden realizarse en el canto atendiendo a las distintas tipologías vocales e incluso a la frecuencia de cada nota dentro de una misma obra. Desgraciadamente, en el ámbito de la pedagogía vocal no suele usarse el AFI para determinar el *aggiustamento* ni se proporciona el nivel de concreción que aporta Berton Coffin para la emisión de los fonos en el canto. Quizás este hecho se deba, por un lado, a que la propia tradición del canto lírico nunca ha usado el AFI y aún muchos pedagogos vocales desconocen su gran utilidad, y por otro, a la formación específica en fonética y canto que se requiere para poder emplear el AFI en la técnica del *aggiustamento* vocálico.

5. La carta formántica y el triángulo vocálico permitirían «visualizar» la modificación vocálica o «aggiustamento» que se da en la voz cantada, y parecen proporcionar información articuladora aproximada sobre el punto y grado de articulación vocálica en distintos registros del emisor.
6. La técnica del *aggiustamento* podría considerarse como uno de los factores que afectan a la inteligibilidad, aunque no se descarta la influencia de otros factores.
7. Puesto que las cartas de formantes y los triángulos vocálicos obtenidos en esta investigación, según los criterios de Calliope (1989:82), y Martínez Celdrán y Fernández Planas (2007:177), pueden proporcionar información sobre las posiciones articulatorias aproximadas empleadas, podrían ser herramientas útiles para la formación del cantante lírico. Además, son herramientas económicas que permitirían su empleo en el aula frente a las imágenes de MRI, EPG o EMA que resultarían muy costosas.
8. De confirmarse estos datos con un corpus mayor, cabría preguntarse: a) ¿cuál es la proporción de «automatismos» y entrenamiento de esta peculiar emisión de las vocales en un cantante lírico?; b) ¿qué técnicas podrían emplearse para conseguir una «mejor» pronunciación?; c) ¿qué aportarían los datos obtenidos de la carta formántica y el triángulo vocálico a la formación del cantante?
9. Por último, sería importante ampliar este estudio a: otras lenguas, todas las vocales y consonantes de las principales lenguas del canto (inglés francés, italiano y alemán); todas las tipologías vocales; los valores de F3; vocales nasales; distintos estilos y géneros vocales.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIÓ, M. (2005): *Reflexiones sobre la voz*, Barcelona, Clivis Publications.

APPELMAN, D. R. (1967): *The Science of Vocal Pedagogy*, Bloomington, Indiana University Press.

ASSMANN, P. F. y T. NEARY (1987): «Perception of front vowels: the role of harmonics in the first formant region», *Journal of Acoustical Society of America* 81, pp. 520-534.

- ASSMANN, P. F.; T. NEARY, y J. HOGAN (1982): «Vowel identification: orthographic, perceptual, and acoustic effects», *Journal of Acoustical Society of America*, 71, pp. 975–989.
- BAÑO LLORCA, F. (2003): *La antitécnica: La impostación vocal en la ópera, teatro musical, jazz, música ligera y agrupaciones corales*, Madrid, Alpuerto.
- BEDDOR, P. S. y S. HAWKINS (1990): «The influence of spectral prominence on perceived vowel quality», *Journal of Acoustical Society of America*, 87, pp. 2684–2704.
- BENOLKEN M. S. y C. E. SWANSON (1990): «The effect of pitch-related changes on the perception of sung vowels», *Journal of Acoustical Society of America* 98, pp. 1781-1785.
- BLADON, R. A. W. y B. LINDBLOM (1981): «Modeling the judgment of vowel quality differences», *Journal of Acoustical Society of America*, 69, pp. 1414–1422.
- CALLIOPE, J. P. (1989): *La parole et son traitement automatique*, París, Masson.
- CANUYT, G. (1958): *La voz*, Buenos Aires, Argentina, Hachette.
- CARLSON, R.; G. FANT y B. GRANSTRÖM (1975): «Two-formant models, pitch and vowel perception», en G. Fant y M. A. A. Tatham (eds): *Auditory Analysis and Perception in Speech*, London, Academic, Press Inc, pp. 55–82.
- CARRÉ, R. y R. LANCIA (1975): «Perception of vowel amplitude transients», en G. Fant y M. A. A. Tatham (eds): *Auditory Analysis and Perception in Speech*, London, Academic, Press Inc, pp. 83–90.
- COCA SALAZAR A. E. (2004): *Estimación del pitch en señales monofónicas de voz cantada*, tesis doctoral, Manizales, Universidad Nacional de Colombia.  
[https://www.academia.edu/760377/Estimación del pitch en senales monofónicas de voz cantada - Andrés E. Coca - Tesis](https://www.academia.edu/760377/Estimación_del_pitch_en_senales_monofónicas_de_voz_cantada_-_Andrés_E._Coca_-_Tesis) [03/06/2015].
- COFFIN, B. (1976): *Coffin's Sounds of Singing*, Lanham, The Scarecrow Press. Inc, 1987.
- COFFIN, B. (1980): *Overtones of Bel Canto*, Lanham, The Scarecrow Press. Inc.

- 
- COFFIN, B. (1987): *The Chromatic Vowel Chart*, Editiondesc, Rowman & Littlefield Publishers, Inc.
- CUART RIPOLL, F. (2004): *La voz como instrumento: palabra y canto*, Villaviciosa de Odón, Real Musical.
- CHEVEIGNÉ, A. (1999): «Missing-data model of vowel identification», *Journal of Acoustical Society of America* 105, 6, pp. 3497-3508.
- DARWIN, C. J. y R. B. GARDNER (1986): «Mistuning of a harmonic of a vowel: Grouping and phase effects on vowel quality», *Journal of Acoustical Society of America*, 79, pp. 838-845.
- ESCUADERO, M<sup>a</sup>. P. (1987): *Educación de la voz 2<sup>a</sup>, Canto-Ortofonía-Dicción-Trastornos vocales*, Madrid, Real Musical.
- FERRER, J. S. (2008): *Teoría, anatomía y práctica del canto*, Barcelona, Herder.
- FISHER-DIESKAU, D. y C. SCHAD (1990): *Hablan los sonidos, suenan las palabras: historia e interpretación del canto*, Madrid, Turner.
- GARNIER, M.; N. HENRICH, J. SMITH y J. WOLFE (2010): «Vocal tract adjustments in the high soprano voice», *Journal of Acoustical Society of America*, 127, pp. 3771-3780.
- GOTTFRIED, T. L. y S. L. CHEW (1986): «Intelligibility of vowels sung by a countertenor», *Journal of Acoustical Society of America*, 79, pp. 124-130.
- GRACIDA OLVERA, G. (2010): *Programa interactivo para analizar la voz cantada mediante técnicas de procesamiento digital de señales*, tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/cys/v15n1/v15n1a5.pdf> [01/03/2015].
- GREGG, J. W. y R. SCHERER (2006): «Vowel Intelligibility in Classical Singing», *Journal of Voice*, 20, 2, pp. 198-210.
- HIRAHARA, T. (1993): «On the role of relative harmonics level around the F1 of high vowel identification», *Proceedings of the Association for Research in Otolaryngology abstracts*, 258, pp. 65.

- HIRAHARA, T. y H. KATO (1992): «The effect of  $F_0$  on vowel identification» en Y. Tohkura, E. Vatikiotis-Bateson y Y. Sagisaka (eds): *Speech Perception, Production and Linguistic Structure*, Tokyo, Ohmsha, pp. 89-112.
- HOLLIEN, H.; A. P. MENDES-SCHWARTZ y K. NIELSEN (2000): «Perceptual confusions of high-pitched sung vowels», *Journal of Acoustical Society of America*, 14, pp. 287-298.
- HOWIE J. y P. DELATTRE (1962): «An experimental study for the effect of pitch on the intelligibility of vowels», *The National Association of Teachers of Singing Bulletin*, XVI, pp. 6-9.
- JÄRVELÄ, E. (1991): «Conveyed intention: A study of some acoustic aspects as related to production and perception of certain sung vowels», *Musiikin tytkimuslaitoksen julkaisusarja*, 7, Helsinki, Sibelius Academy, Music Research Institute.
- JOLIVEAU, E.; J. SMITH y J. WOLFE (2004): «Vocal tract resonances in singing: The soprano voice», *Journal of Acoustical Society of America*, 116, pp. 2434-2439.
- JUVARRA, A. (1987): *Il canto e le sue tecniche. Trattato*, Milán, Ed. Ricordi.
- JUVARRA, A. (2002): *Riflessioni figurate sul canto*, Padua, Armelin Musica.
- JUVARRA, A. (2006): *I segreti del belcanto. Storia delle tecniche e dei metodi vocali dal Settecento ai nostri giorni*, Milán, Edizioni Curci.
- KLATT, D. H. (1982): «Speech processing strategies based on auditory models», en R. Carlson y B. Granström (eds): *The Representation of Speech in the Peripheral Auditory System*, Amsterdam, Elsevier, pp. 181-196.
- MANSION, M. (1947): *El estudio del canto*, Buenos Aires, Ed. Ricordi Americana.
- MARTÍNEZ CELDRÁN, E. y A. M<sup>a</sup>. FERNÁNDEZ PLANAS (2007): *Manual de fonética española*, Barcelona, Ariel, 2013.
- MENA GONZÁLEZ, A. DE. (1994): *Educación de la voz. Principios fundamentales de ortofonía*, Málaga, Ediciones Aljibe.

- 
- MILLER, D. G.; H. K. SCHUTTE, A. M. SULTER y R. F. WOLF. (1997): «Comparison of vocal tract formants in singing and non periodic phonation », *Journal of Voice*, 11, 1, pp. 1 – 11.
- MILLER, R. (1926) [1996]: *The structure of singing*, Boston, Schirmer.
- MOROZOV, V. P. (1965): «Intelligibility in singing as a function of fundamental voice pitch», *Soviet Physics: Acoustic*, 10, pp. 279-283.
- PEREC, G. (1991): «Experimental demonstration of the tomatic organization in the soprano», en G. Perec (ed): *Cantatrix sopranica L*, Paris, Seuil, pp. 11-33.
- PERRELLÓ, J. y M. CABALLÉ (1982): *Canto-dicción: foniatría, estética*, Barcelona, Ed. Científico-médica.
- PERRELLÓ, J. (1982): *Canto-dicción*, Barcelona, Ed. Científico-médica.
- POSADAS DE JULIÁN, P. (2008): «Los fonemas como recurso expresivo en el canto lírico», en A. Pamies, M. C. Amorós y J. M Pazos (eds): *Experimental Prosody. Language Design. Special issue 2*, Granada, Método Ediciones, pp. 107-118.
- REGIDOR ARRIBAS, R. (1999): *Temas del canto. El aparato de fonación (cómo es y cómo funciona). El “Pasaje” de la voz*, Madrid, Real Musical.
- REGIDOR ARRIBAS, R. (1999): *Temas del canto. La clasificación de la voz*, Madrid, Real Musical.
- ROSNER, B. S. y J. B. PICKERING (1994): *Vowel Perception and Production*, Oxford, Oxford University Press.
- RYALLS, J. H. y P. LIEBERMAN (1982): «Fundamental frequency and vowel perception», *Journal of Acoustical Society of America*, 72, pp. 1631-1634.
- SCOTTO DI CARLO, N. y A. GERMAIN (1985): «A perceptual study of the influence of pitch on the intelligibility of sung vowels», *Phonetica*, 42, pp. 188-197.
- SCOTTO DI CARLO, N. (1991): «La voix chantée», *La Recherche*, XXIII, 235, pp. 1016-1025.

- SUNDBERG, J. (1974): «Articulatory interpretation of the *singing formant*», *Journal of Acoustical Society of America*, 55, pp. 838-844.
- SUNDBERG, J. (1975): «Formant technique in a professional female singer», *Acústica*, 32, pp. 89-96.
- SUNDBERG, J. (1977): «The acoustics of the singing voice», *Journal of Acoustical Society of America*, 21, pp. 82-91. [Traducción española: Sundberg, J. (2000): «La acústica del canto», *Temas Investigación y Ciencia* 21, pp. 78-86].
- SUNDBERG, J. y J. GAUFFIN (1982): «Amplitude of the voice fundamental and the intelligibility of upper pitch vowels», en R. Carlson y B. Granströ (eds): *The Representation of Speech in the Peripheral Auditory System*, Amsterdam, Elsevier Biomedical Press, pp. 223–228.
- SUNDBERG, J. (1987): *The Science of the Singing Voice*, DeKalb, Illinois, Northern Illinois University Press.
- SUNDBERG, J. y J. SKOOG (1997): «Dependence of the jaw opening on pitch and vowel singing», *Journal of Voice*, 11, pp. 301-306.
- TITZE, I. R. (1988): «The physics of small-amplitude oscillations of the vocal folds», *Journal of Acoustical Society of America*, 83, pp. 1536-1552.
- TITZE, I. R.; R. TOBIAS, y P. POPOLO (2008): «Nonlinear source-filter coupling in phonation: Vocal exercises», *Journal of Acoustical Society of America*, 123, pp. 1902-1915.
- TORRÁS, R. (1905) [2005]: *Escuela española de canto*, Valladolid, Maxtor.
- TOSI, F. (1723): *Opinioni de ‘cantori antichi e moderni o sieno osservazione sopra il canto figurato*, Bologna, Lelio dalla Volpe.
- VIVALDI, E. (2005): *Il Canto. Metodo teorico-pratico per il cantante moderno*, Milán, Carish.