

VARIACIÓN INTER- E INTRALOCUTOR: PARÁMETROS ACÚSTICOS SEGMENTALES QUE CARACTERIZAN FONÉTICAMENTE A TRES HERMANOS¹

EUGENIA SAN SEGUNDO FERNÁNDEZ
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Resumen: Se ha analizado acústicamente una muestra del habla de tres hombres adultos, hablantes de español y genéticamente hermanos completos. A partir de las frecuencias centrales de sus cuatro primeros formantes en las vocales tónicas estudiadas, se obtuvo el número de diferencias significativas por cada vocal y formante, agrupando a los hermanos por parejas. Estas diferencias se consideran representativas de la variación interlocutor, mientras que la variación intralocutor vendría dada por los valores medios significativamente diferentes entre dos lecturas del corpus por un mismo hablante. Para los formantes altos F3 y F4 se obtiene una mayor presencia de diferencias significativas interlocutor, en comparación con las diferencias significativas intralocutor. F3 y F4 serían, por tanto, parámetros más robustos que F1 y F2 para la identificación. No obstante, los resultados del análisis de varianzas para F1 y F2 muestran que estos formantes probablemente no deban ser descartados en los estudios de identificación de locutor.

Palabras clave: Variación Fonética, Identificación de Hablantes, Hermanos, Frecuencias Formánticas, Vocales del Español

Abstract: A speech fragment from three Spanish-speaking adult brothers was analyzed acoustically. The number of significant differences in the four first formant frequencies was calculated, per vowel and per formant. These differences are considered representative of interspeaker variation, while the intraspeaker variation would be determined by the significantly different mean values between two readings of the corpus by the same speaker. The results show that in F3 and F4 interspeaker significant differences are more often found, in comparison with the presence of intraspeaker significant differences. Nevertheless, according to the results for F1 and F2, these formants should probably not be discarded in Forensic Speaker Identification.

Keywords: Phonetic Variability, Forensic Speaker Identification, Siblings, Formant Frequencies, Spanish Vowels

1. Introducción

Enmarcado dentro de los estudios de identificación de hablantes en el contexto de la Fonética Judicial, este trabajo pretende validar la utilidad de analizar el habla de tres hermanos, partiendo de la hipótesis de que en estos hablantes, y en nuestros informantes en concreto, se observará una reducción importante en la variación interlocutor con respecto a la que se daría en un grupo de hablantes sin relación de parentesco. A pesar de las características individuales de cada uno de ellos, se considera que el hecho de que los tres hermanos compartan información genética e influencias educativas y ambientales similares conlleva una disminución de las múltiples fuentes de variabilidad que caracterizan el habla humana.

Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica que ha permitido delimitar los fenómenos fonéticos que se han considerado en esta investigación. A partir de la información obtenida en dicha revisión y, especialmente, teniendo en cuenta los resultados obtenidos por E.

BATTANER ET AL. (2007) y M.J. ALBALÁ ET AL. (2008) para la identificación de hablantes en español, planteamos la siguiente hipótesis con respecto a la importancia relativa de las frecuencias bajas (F1 y F2) y de las altas (F3 y F4): *Existe una mayor variación interlocutor (entre distintos hermanos) que intralocutor (en cada hermano considerado individualmente) en los formantes que se dan a altas frecuencias (F3 y F4), frente a los dos primeros formantes (F1 y F2).*

Puesto que en los estudios de identificación de hablantes interesa que exista una mayor proporción de variación interlocutor con respecto a la variación intralocutor, se pretende estudiar si ese *ratio* de variación es mayor en los formantes altos (F3 y F4) que en los bajos (F1 y F2). De este modo, se busca comprobar si F3 y F4 siguen siendo, para miembros de una familia, parámetros robustos para la caracterización individual, como parece que lo son para el reconocimiento de locutor con independencia del grado de parentesco (E. BATTANER ET AL. 2007: 165).

2. Método

2.1. Corpus

Para la realización de este experimento se ha creado un corpus *ad hoc* formado por quince palabras enmarcadas en una frase portadora. De estas quince palabras nos ocuparemos del estudio de las vocales tónicas que aparecen siempre en sílaba abierta y en última posición, en palabras bisílabas oxítonas.

Las vocales tónicas estaban precedidas de sonidos oclusivos sordos ([p, t, k]), un caso de cada tipo por vocal, y, al mismo tiempo, seguidas del sonido fricativo alveolar sordo ([s]) en una estructura del tipo CV \$ C, donde \$ marca la separación de palabras. A partir de la revisión bibliográfica llevada a cabo previamente se ha observado que estos contextos tienen menor influencia coarticulatoria que otros contextos consonánticos posibles. (M.J. ALBALÁ ET AL. 2008: 163). En concreto, los trabajos publicados en el marco del proyecto VILE: *Estudio acústico de la variación inter- e intralocutor en español* (E. BATTANER ET AL. 2007 y M.J. ALBALÁ ET AL. 2008, entre otras publicaciones) siguen este criterio para la selección de las vocales tónicas y átonas analizadas. En este estudio nos interesa seguir el mismo procedimiento para comparar los resultados obtenidos en el análisis de los formantes de cada una de las vocales de nuestros informantes pertenecientes a una familia con los resultados obtenidos en el análisis de las vocales para la muestra de la población estudiada en el proyecto VILE.

Se ha procurado utilizar palabras reales y no pseudopalabras o logatomos. Esto ha sido posible salvo en el caso de *quipú*, para el cual el *Diccionario de la Real Academia Española (DRAE)* no contempla la acentuación aguda sino llana. Se incluyen, a continuación, algunos ejemplos de las frases que constituyen el corpus, en las que se puede observar la estructura global de las frases marco. En estas, aparecen en posición central las palabras cuyas últimas vocales nos interesa analizar:

(1) *Dijo que papá se marcha*

(2) *Dile que tapé su pasta*

(3) *Dice que Martí se cansa*

2.2. Informantes

A lo largo de este trabajo se hará referencia a los resultados obtenidos en los estudios llevados a cabo en el marco del proyecto VILE, sobre todo a los recogidos en E. BATTANER ET AL. (2007) y M.J. ALBALÁ ET AL. (2008). De este modo, se pretende comparar los resultados del análisis del habla de nuestros informantes hermanos con una muestra de hablantes masculinos con los que los anteriores no comparten ningún grado de parentesco. Estos últimos se considerarán una muestra representativa de la población general de hombres adultos. Conviene,

por ello, hacer referencia en este apartado a dos tipos de informantes. Por un lado, mencionaremos a los informantes que participaron en la elaboración del corpus utilizado en el proyecto VILE, y, por otro lado, se hará mención del perfil lingüístico de los tres hermanos que han participado en el corpus *ad hoc* creado para esta investigación.

El corpus utilizado por los investigadores del proyecto VILE cuenta con 30 locutores masculinos pertenecientes a la base de datos AHUMADA (J. ORTEGA, J. GONZÁLEZ Y V. MARRERO 2000), que, a su vez, está formada por 104 hablantes masculinos de entre 23 y 52 años. La proporción de hablantes de una determinada edad en dicho corpus se determinó conforme a datos reales procedentes de informes policiales acerca de la edad mayoritaria de las personas bajo arresto. Por eso, un alto porcentaje de los hablantes del corpus AHUMADA tienen una edad comprendida entre los 28 y 42 años. Conviene señalar, además, la falta de información sobre el perfil lingüístico de los hablantes del corpus de referencia.

Por otro lado, los informantes que han participado en este estudio (Au, C y An) son tres hermanos completos (esto es, del mismo padre y de la misma madre), del mismo sexo (hombres) y de 58, 51 y 46 años de edad, respectivamente. La importancia de que sean hermanos completos está relacionada con las características genéticas que comparten, en concreto, la mitad de su información genética².

En cuanto a los factores ambientales y educativos que han podido influir en su habla, destacamos los siguientes aspectos: Los tres tienen como lengua materna el español y son hablantes monolingües. Proceden de la misma ciudad castellana, donde Au y An vivieron aproximadamente 18 años y donde C lleva viviendo 46 años. El tiempo de convivencia de los tres es de 6 años, de Au y C por separado 11, y de Au y An 6 de convivencia en el hogar familiar y 28 en la misma ciudad, Madrid. Como modelos lingüísticos desde la infancia, tienen dos hermanas más y únicamente el modelo de la madre desde que tenían 14, 7 y 2 años, respectivamente. Las parejas de cada uno son también hablantes monolingües de español, residentes en las mismas ciudades que ellos. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que An es fumador y en el momento de llevar a cabo la grabación presentaba cierta congestión nasal debida a un resfriado.

2.3. Procedimiento de recogida de datos

Para llevar a cabo el experimento se pidió a los informantes que leyeran el corpus dos veces, espaciadas por un intervalo de 2 minutos aproximadamente. El corpus se presentó a los informantes a través de fichas de cartulina del mismo tamaño (10x15cm) con las frases impresas en el centro. Con anterioridad a la grabación del corpus se informó a los hablantes de que debían leer las frases de la manera más natural posible intentando mantener un ritmo y entonación uniformes, pasando cada ficha después de leer la frase en ella escrita. Asimismo, se permitió que los informantes pudieran leer las frases una vez antes de proceder a la grabación y plantearan sus posibles dudas con respecto a alguna palabra que no entendieran o en relación a cualquier otro aspecto que quisieran preguntar.

La grabación se realizó en una sala anecoica empleando un micrófono cardioide de tipo condensador, marca AKG C-444³, y se llevó a cabo mediante el programa *Adobe Audition* 1.0 en formato de audio *.wav*. En cuanto a los parámetros de la digitalización, la frecuencia de muestreo fue de 44100 hercios; la resolución de 16 bits por muestra y la grabación se realizó en un solo canal (mono).

2.4. Procedimiento de análisis

El análisis acústico del corpus se realizó mediante el programa *Praat* (P. BOERSMA Y D. WEENINK 2008). Se obtuvieron dos lecturas del corpus por hablante y se analizaron ambas. En cada una de ellas se segmentaron todas las vocales tónicas objeto de estudio. La segmentación de las vocales tónicas se realizó manualmente, habiendo seleccionado la opción "*Formants: Show Formants*" (con 4 formantes) en la barra de herramientas. De esta forma, se segmentó la

vocal teniendo siempre en cuenta el mismo criterio: seleccionar el fragmento vocálico donde los formantes son más estacionarios. Una vez etiquetadas las vocales tónicas, se extrajo la media de los valores de los formantes de cada vocal automáticamente y posteriormente se verificaron estos resultados manualmente.

El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa *Matlab* (MATHWORKS, INC. 2007). Junto con el análisis de varianzas ANOVA1 (*One Way Analysis of Variance* o *One Way ANOVA*) se ha utilizado una prueba estadística de comparaciones múltiples mediante la función de *Matlab* denominada *multcompare* (*Multiple Comparison Test*). La función ANOVA1 de *Matlab* nos ha permitido conocer el grado de significación de las diferencias de los valores formánticos medios de cada vocal de un hablante con respecto a las vocales de otro hablante. Además, la función *multcompare* de *Matlab* permite comprobar de manera gráfica si existen diferencias significativas en los parámetros comparados y entre qué hablantes. Se ha considerado diferencia significativa aquella que no supera el valor de 0.05, umbral habitualmente aplicado en ciencias humanas.

3. Resultados

3.1. Los dos primeros formantes

En la tabla 1 se recogen los datos obtenidos en el análisis del primer y segundo formante para los tres hermanos, así como los datos que ofrecen M.J. ALBALÁ ET AL. (2008) para el proyecto de investigación VILE⁴, que constituye la población de referencia. Junto al valor medio de las frecuencias en hercios de las vocales se presenta la desviación estándar con el símbolo \pm .

	F1					F2				
	Au	C	An	Her	Ref	Au	C	An	Her	Ref
/i/	273 ± 16	323 ± 28	264 ± 5	286 ± 31	345 ± 31	2187 ± 142	2303 ± 166	2174 ± 96	2221 ± 71	2089 ± 161
/e/	388 ± 14	408 ± 18	369 ± 20	388 ± 19	432 ± 33	1847 ± 86	2184 ± 101	1731 ± 81	1920 ± 235	1764 ± 193
/a/	635 ± 22	667 ± 65	554 ± 82	618 ± 58	603 ± 48	1261 ± 86	1312 ± 125	1320 ± 71	1297 ± 32	1375 ± 149
/o/	445 ± 20	400 ± 23	395 ± 28	413 ± 27	477 ± 46	943 ± 50	924 ± 98	1038 ± 49	968 ± 61	1062 ± 190
/u/	307 ± 27	301 ± 10	262 ± 13	290 ± 24	---	734 ± 49	810 ± 123	1012 ± 67	852 ± 143	---

Tabla 1: Valores medios y desviación estándar, en Hz, de F1 y F2 para cada uno de los hermanos por separado (Au, C, An), los hermanos en conjunto (Her) y la población de referencia (Ref).

En cuanto a la distribución espectral de F1, los valores medios de este formante para los tres informantes, considerados en conjunto, van ascendiendo de /i/-/u/ (286 y 290 Hz respectivamente) a /e/-/o/ (388 y 413 Hz respectivamente) y finalmente /a/ (618 Hz). Los datos, por tanto, eran los esperables teniendo en cuenta que los valores de F1 se relacionan con la mayor o menor altura que alcanza la lengua en la articulación de las vocales. Así, las vocales más cerradas son las de menor frecuencia en su primer formante, seguidas de las vocales medias y, por último, la vocal más abierta del español es la de mayor frecuencia en F1. Esto se cumple tanto en los tres informantes conjuntamente como para cada uno de ellos individualmente, como se puede observar en la Tabla 1.

En lo que respecta al segundo formante, asociado con la mayor o menor anterioridad articulatoria de la lengua durante la articulación de las vocales, se observa que los valores medios de los tres informantes van ascendiendo desde la vocal más posterior /u/ (852 Hz) a la más anterior /i/ (2221 Hz) pasando por /o/ (968 Hz), /a/ (1297 Hz) y /e/ (1920 Hz). Se cumple así para los miembros de la familia en general y para cada uno de ellos en concreto.

3.2. El tercer y cuarto formantes

A diferencia de los resultados presentados para F1 y F2, para los formantes altos se han sumado los valores frecuenciales de todas las vocales, ya que estos no varían de vocal a vocal tanto como en los dos primeros formantes. En el análisis de los resultados veremos que, en general, las vocales con mayor y menor frecuencia formántica para F3 y F4 son las mismas en todos los hablantes, mientras que existen diferencias en las vocales intermedias.

	F3					F4				
	Au	C	An	Her	Ref	Au	C	An	Her	Ref
/i/	2733 ±215	2890 ±84	2708 ±121	2777 ±98	2774 ±312	3646 ±299	4117 ±206	3933 ±306	3898 ±237	3706 ±272
/e/	2373 ±148	2786 ±66	2206 ±105	2455 ±298	2516 ±212	3711 ±246	4026 ±65	3878 ±216	3871 ±157	3644 ±349
/a/	2126 ±164	2391 ±185	2185 ±136	2234 ±139	2287 ±224	3412 ±146	3715 ±206	3888 ±138	3671 ±240	3588 ±331
/o/	2462 ±225	2599 ±84	2309 ±115	2456 ±145	2429 ±332	3432 ±137	3485 ±297	3354 ±212	3423 ±65	3553 ±346
/u/	2533 ±67	2777 ±95	2327 ±30	2545 ±225	---	3343 ±73	3625 ±249	3522 ±154	3496 ±142	---
TODAS	2445 ±222	2688 ±196	2347 ±211	2493 ±263	2501 ±204	3508 ±160	3793 ±268	3715 ±260	3672 ±147	3622 ±66

Tabla 2: Valores medios y desviación estándar de F3 y F4 para cada uno de los hermanos por separado (Au, C, An), los hermanos en conjunto (Her) y la población de referencia (Ref), tanto para las vocales en conjunto como para cada una de ellas aisladamente

Los valores medios de F3 de los tres hermanos están en torno a los 2500 Hz (concretamente 2493 Hz), una cifra muy parecida a la que ofrecen M.J. ALBALÁ ET AL. (2008) en el estudio de VILE: 2501 Hz. Individualmente, C, con una media de 2688 Hz del F3 de todas sus vocales, presenta valores más altos, en consonancia con las altas frecuencias que presentaba también para F1 y F2. La media de F3 de An es la más baja (2347 Hz), datos que concuerdan con las bajas frecuencias para sus otros formantes. Sin embargo, un análisis de varianza ANOVA⁵ muestra que las medias no son significativamente diferentes ($p = 0,29$) ni entre los hermanos ni con respecto a la muestra de VILE.

El F4 presenta un valor medio en los hermanos de 3672 Hz, poco más que en la muestra de VILE (3626 Hz). La prueba ANOVA1 permite conocer que en la comparación de las medias de los cuatro grupos (Au, C, An, hermanos y población de referencia) no existen diferencias significativas ($p = 0,27$).

4. Análisis de los resultados

4.1. Los dos primeros formantes

El primer formante resulta informativo para diferenciar entre hermanos porque permite observar diversos rasgos característicos de cada hablante. Por un lado, An presenta frecuencias más bajas de forma consistente, es decir para todas las vocales. Se trata justamente del que estaba algo resfriado; por lo que podría deberse a la presencia de índices de nasalización, que suponen la adición de una primera resonancia nasal en la zona inferior al primer formante, a la vez que un debilitamiento y elevación de la frecuencia de F1 (G. FANT 1962: 27) De esta forma, tal vez en el análisis automático lo que se ha detectado en Praat es un valor intermedio entre esa primera resonancia nasal y el primer formante. Entre C y Au se observan valores frecuenciales más altos en C para las vocales anteriores y central (/i, e, a/), pero en Au son los valores frecuenciales de las posteriores /o, u/ los más altos.

En cuanto a F2, este formante nos informa tanto de diferencias entre los hermanos como de aspectos en los que se asemejan. Por un lado, todos los hermanos comparten la desviación

estándar más elevada para /i/. En lo que se refiere a la utilidad de F2 para distinguir entre hermanos, podemos destacar varios aspectos. Por un lado, el hablante An se caracteriza por una corta distancia entre el punto de articulación de la vocal más anterior y la más posterior. Además, y en relación con el hecho de que /u/ no alcance valores muy bajos, la distancia entre /u/ y /o/ es mínima. Por otro lado, un rasgo característico de C es la poca distancia entre el punto de articulación de sus vocales anteriores /e-/i/ y las posteriores /o-/u/.

Cabe comentar otro aspecto en relación con la gran variación de la vocal /o/ en la muestra de VILE y de /u/ en el grupo de hermanos, aparte de la alta desviación estándar de la otra vocal media /e/ en ambos. M.J. ALBALÁ ET AL. (2008:6) señalan que «la gran variación de la /o/, tanto tónica como átona, puede deberse a que el rasgo de labialización, que las otras vocales estudiadas no poseen, contribuya a su discriminación y permita un mayor margen de variación en su localización articulatoria» y añaden que «los resultados sobre la vocal /u/ ayudarían a corroborar esta hipótesis». Nuestro estudio, que sí ofrece datos para /u/, nos permite comprobar que, efectivamente, existe gran variación también en la localización articulatoria de /u/. Cabría preguntarse si la corta distancia entre /o/ y /u/ para el hablante An en el segundo formante es explicable también por la mayor o menor labialización de cada vocal.

Se presentan a continuación las cartas de formantes obtenidas para las vocales de los hermanos junto con sus respectivos triángulos (o trapecios) vocálicos, que se corresponden con la representación articulatoria, situando la abertura de la mandíbula en el eje vertical y la localización de la constricción en el eje horizontal. Para dibujar estas cartas de formantes se ha utilizado el programa *JplotFormants*. (R. BILLEREY-MOSIER 2008)

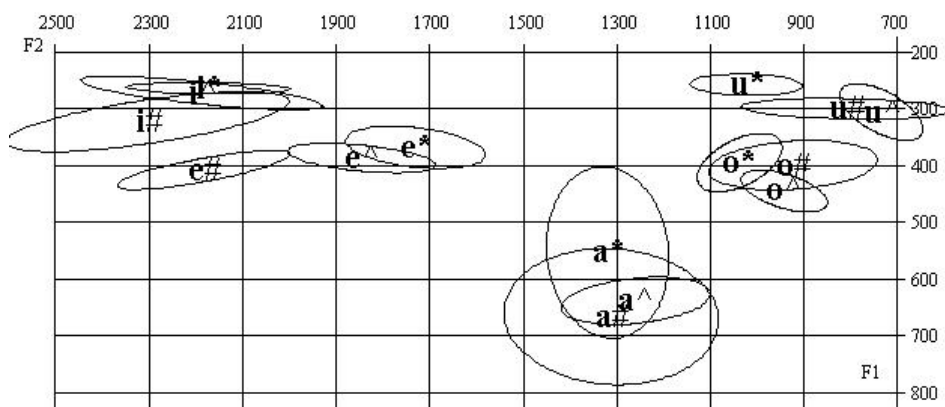


Figura 1: Carta de formantes de las vocales de los hermanos: Au (^), C (#) y An (*). La elipse muestra la dispersión de los valores frecuenciales, mientras que la vocal en el centro de la elipse hace referencia a la media de los valores.

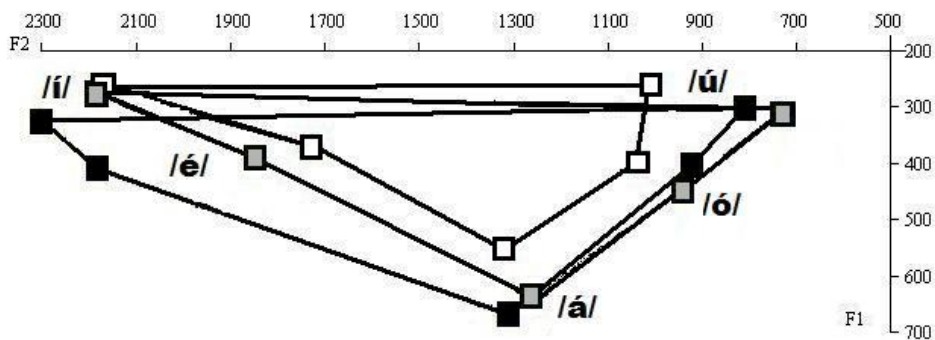


Figura 2: Trapecios vocálicos de las vocales de los hermanos: Au (gris), C (negro) y An (blanco)

4.2. Los formantes tercero y cuarto

La relación acústico-articulatoria en el caso del tercer formante no parece tan clara como en los formantes primero y segundo. De acuerdo con la revisión bibliográfica llevada a cabo, el F3 no parece tener, en principio, un papel exclusivamente lingüístico, funcionando también como índice de la individualidad del hablante. Según sostienen M.J. ALBALÁ ET AL. (2008:6) «a partir de los valores medios del F3 puede estimarse la longitud general del tracto vocal, de modo que [...] los oyentes "construyen" un marco de referencia en el que situar todas las vocales producidas por el hablante en cuestión a partir precisamente de los datos del F3». Estos autores (M.J. ALBALÁ ET AL. 2008:6) añaden que «se ha comprobado una relación sistemática entre la altura del F3 y el tamaño de la cavidad de resonancia bucal, en particular de la zona situada tras los incisivos inferiores: cuanto menor sea la dimensión de esta última, más alto estará ubicado el F3 (J. SUNDBERG 1973, 1974, en M.J. ALBALÁ ET AL. 2008:6)».

En nuestro caso, los valores frecuenciales de F3 más altos se dan tanto en los hermanos como en el grupo de referencia en la vocal /i/, y los más bajos en /a/. El orden de mayor a menor frecuencia del resto de vocales no aparece con tanta claridad. Según M.J. ALBALÁ ET AL. (2008:6) «a medida que se abre la vocal (de /i/ a /a/), el ápice de la lengua se va retrayendo, y la cavidad de resonancia tras los incisivos inferiores aumenta, con la consiguiente disminución en la altura del F3». Sus datos demuestran dicha relación, pues en su muestra los valores de F3 más altos se dan en la vocal /i/, y los más bajos en /a/, mientras que las vocales /e/-/o/, de abertura media, también presentan un valor intermedio en este formante. Los datos para nuestros hablantes en cierto modo también ratifican esta relación, pues los valores más altos se dan en /i/ y los más bajos en /a/. No obstante, se aprecian variaciones en cuanto a las vocales intermedias.

	F3	F4
	ORDEN DE MAYOR A MENOR FRECUENCIA	ORDEN DE MAYOR A MENOR FRECUENCIA
Au	/i/ > /u/ > /o/ > /e/ > /a/	/e/ > /i/ > /o/ > /a/ > /u/
C	/i/ > /e/ > /u/ > /o/ > /a/	/i/ > /e/ > /a/ > /u/ > /o/
An	/i/ > /u/ > /o/ > /e/ > /a/	/i/ > /a/ > /e/ > /o/ > /u/
Ref	/i/ > /e/ > /o/ > /a/	/i/ > /a/ > /e/ > /o/

Tabla 3: Orden de mayor a menor frecuencia de F3 y F4 en las vocales de cada hablante (Au, C y An) y en la población de referencia (Ref)

En cuanto a F4, M.J. ALBALÁ ET AL. (2008:6) observan para las medias de sus hablantes que los valores de F4 van descendiendo a medida que se retrocede a lo largo del eje anteroposterior de la cavidad oral: la vocal /i/ ofrece el resultado más alto, mientras que /o/ presenta el más bajo, ya que el estudio no recoge datos sobre /u/, y añaden «Ciertamente, la /o/ es la vocal que presenta un resonador bucal más largo, por efecto del redondeamiento labial, lo cual, como ya precisaron B. LINDBLOM Y J. SUNDBERG (1971) influye no sólo en el F3, sino también en el F4 (y, en general, en todos los formantes). La altura de la laringe, que puede variar individualmente, condiciona asimismo el valor de este formante». Si atendemos al orden de mayor a menor frecuencia de F4 en las vocales de nuestros hablantes y de la muestra de VILE, observamos ciertas diferencias. En general, ocurre que el primer lugar, con las frecuencias más altas, lo ocupa siempre una vocal anterior /i/ o /e/ y el último lugar una vocal posterior, /o/ o /u/, ambas, en efecto, con un resonador bucal más largo, por efecto del redondeamiento labial. Quedaría por estudiar a qué se debe esta divergencia entre unos hablantes y otros.

4.3. Variación inter- e intralocutor en cada formante: Análisis estadístico

Se ha realizado un análisis de varianzas comparando los valores formánticos medios de todas las vocales, por hablante y por formante. Las razones para llevar a cabo este análisis estadístico son las siguientes: (1) comprobar si las diferencias entre hablantes que parecían

existir atendiendo a los valores frecuenciales y a las cartas de formantes para F1 y F2 eran estadísticamente significativas; (2) conocer si en los formantes altos (F3/F4) existen diferencias significativas inter- e intralocutor, (3) comprobar si las diferencias en un mismo hablante para todos los formantes son significativas. Para ello se han comparado las dos lecturas del corpus llevadas a cabo por cada hablante.

En la tabla 4 se muestra en qué vocales radica la diferencia entre cada par de hablantes, en función de cada uno de los formantes. Se resaltan los casos en que un solo formante ofrece diferencias significativas en todas las vocales, para una pareja de hablantes. Se trata, por un lado, de la pareja de hermanos C y An, que se diferencian para todas las vocales en F4 y, por otro lado, de la pareja Au y C, en cuyo primer formante de cada una de las vocales existen diferencias significativas.

La tabla 5 recoge, independientemente de los hablantes concretos que estemos comparando, los formantes y vocales que permiten distinguir mejor a nuestros informantes por presentar un mayor número de casos de diferencias significativas interlocutor (símbolo +) y un menor número de diferencias significativas intralocutor (símbolo -).

	F1	F2	F3	F4
Au ≠ An	/o, u/	/u/	/e, u/	/a, o/
Au ≠ C	/i/	/e/	/a, e, u/	/a, e, i, o, u/
C ≠ An	/a, e, i, o, u/	/e, o, u/	/e, o, u/	/o/

Tabla 4: Vocales para las que se han encontrado diferencias significativas en los valores de los formantes en cada pareja de hablantes

	F1	F2	F3	F4	TOTAL
/a/	+		+	++	4(+) = 4
/e/	+ -	++ -	+++	+ -	7(+); 3(-) = 4
/i/	++			+	3(+) = 3
/o/	++ -	+	+	+++	7(+); 1(-) = 6
/u/	++	++	+++	+	8(+) = 8
TOTAL	8(+); 2(-) = 6	5(+); 1(-) = 4	8(+) = 8	8(+); 1(-) = 7	

Tabla 5: Vocales y formantes que presentan mayor ratio de variación interlocutor en relación con la variación intralocutor.

Consideramos que las vocales y formantes que presentan mayor ratio de variación interlocutor en relación con la variación intralocutor, es decir, mayor número de valores medios de frecuencias formánticas significativamente diferentes, permiten distinguir mejor entre hablantes. De este modo, conforme a los datos de la tabla 5, los formantes más robustos para la identificación de nuestros hablantes serían, en este orden: F3 > F4 > F1 > F2. Por otro lado, las vocales, para nuestros informantes, que mejor permitirían distinguir a unos de otros, son: u > o > e > a > i.

5. Conclusiones

En este estudio hemos comprobado que, pese al gran parecido fónico que inicialmente se podía pensar que tendrían tres hermanos, existen parámetros acústicos que reflejan rasgos individuales en cada uno de ellos. La principal implicación de estos resultados para la Fonética Judicial, es, como se expuso en la introducción, que permite conocer las diferencias entre hablantes muy parecidos analizando parámetros acústicos exclusivamente referidos a los resonadores e intentando controlar al máximo las fuentes de variabilidad interlocutor. Otra implicación importante de este estudio para el campo de investigación tratado es que permite confirmar algunos de los resultados ofrecidos en M.J. ALBALÁ ET AL. (2008) y E. BATTANER ET

AL. (2007). Por ejemplo, los datos referentes a la vocal /u/, en concreto para la realización tónica, completan los resultados de trabajos como el de M.J. ALBALÁ ET AL. (2008), en los que no se ofrecen datos para esta vocal. Además, la inclusión de esta vocal en el corpus podría verificar algunas hipótesis que M.J. ALBALÁ ET AL. (2008) consideran con respecto a la labialización como posible causa de la elevada desviación estándar hallada en la vocal /o/.

Nuestra hipótesis quedaría confirmada si atendemos a los datos de la tabla 5, que muestra que en los formantes altos se produce una mayor variación interlocutor, en comparación con la variación intralocutor. Este hecho viene a significar que F3 y F4 son más robustos para la identificación de los hablantes. Esto confirmaría los datos aportados en E. BATTANER ET AL. (2007) o en M.J. ALBALÁ ET AL. (2008). Concretamente, el orden que siguen los formantes desde el que presenta más valores medios significativamente diferentes entre vocales de distintos hermanos hasta el que ofrece menos es el siguiente: $F3 > F4 > F1 > F2$. Este orden significaría que los formantes más a la izquierda en esta escala permiten distinguir más vocales entre hermanos. No obstante, sería necesario realizar una prueba perceptiva que validara la robustez de estos parámetros para identificar o discriminar hablantes. Otros dos aspectos destacables con respecto a este orden son, por un lado, que tanto F4 como F1 presentan valores medios significativamente diferentes para todas las vocales en la comparación entre An y C (F1) y entre Au y C (F4). Parece que serían los parámetros que, en cada pareja, permitirían distinguir mejor a un hablante de otro. Por ello, pese a confirmar la hipótesis de que los formantes altos permiten distinguir mejor a los hablantes, la importancia que pueden llegar a adquirir los formantes bajos se demuestra porque F1 constituye el parámetro que permite distinguir a An y C en todas sus vocales.

Es evidente que en nuestro estudio las fuentes de variación interlocutor no han podido controlarse totalmente. El lugar de residencia de los informantes, aunque cercano, no es exactamente el mismo para los tres; e incluso su estado de salud era distinto en el momento de la grabación. Todos estos factores han podido influir en los resultados obtenidos. Por eso, cabría ampliar este estudio teniendo en cuenta aspectos dialectales o sociolingüísticos que puedan explicar las diferencias interlocutor que se han encontrado para los hermanos e incluso repetir el mismo experimento pasado un tiempo para comprobar qué rasgos característicos de los hablantes son consistentes y robustos a la variación temporal.

Este estudio ha mostrado que existen índices acústicos que permiten distinguir entre sí a hablantes cuyas posibles fuentes de variabilidad interlocutor son bastante reducidas, como ocurre en el caso de los hermanos. Esto no obsta para que confirmemos que un solo parámetro no es suficiente para hallar la individualidad de la voz en los hablantes y poder distinguirlos. De ahí que sea necesario conjugar, en posibles trabajos futuros, el estudio de parámetros acústicos referidos a los resonadores con el estudio de otros parámetros.

BIBLIOGRAFÍA

ALBALÁ, MARÍA JOSÉ ET AL., «VILE: Nuevos datos acústicos sobre vocales del español». *Language Design. Journal of Theoretical and Experimental Linguistics. Special Issue 2: New Trends in Experimental Phonetics: Selected Papers From the IV International Conference on Experimental Phonetics* (Granada, 11-14 Feb. 2008), 1, 1-14.

BATTANER, ELENA ET AL., «VILE: Estudio acústico de la variación inter- e intralocutor en español», en *Actas do 3o Congreso Internacional de Fonética Experimental*. Santiago de Compostela, 24-26 de octubre de 2005, pp. 157-167.

BILLEREY-MOSIER, ROGER, *JPlotFormants: Formant-plotting software* (Versión 1.4) [Programa informático]. Obtenido el 20 de septiembre de 2008, de <http://www.linguistics.ucla.edu/people/grads/billerey/PlotFrog.htm>

BOERSMA, PAUL Y DAVID WEENINK, *Praat: doing phonetics by computer* (Versión 5.1.25) [Programa informático]. Obtenido el 20 de septiembre de 2008, de <http://www.praat.org/>

FANT, GUNNAR (1962) «Descriptive analysis of the acoustic aspects of speech». *Logos*, 5(1), 3-17.

LINDBLOM, BJÖRN Y JOHAN SUNDBERG, «Acoustical consequences of lip, tongue, jaw and larynx movement», *Journal of the Acoustical Society of America*, 50, 1971, pp. 1166-1179.

MATHWORKS, INC., *Matlab: the language of technical computing* (Versión 7.5.0.342) [Programa informático]. Obtenido el 2 de octubre de 2007, de <http://www.mathworks.es/store/default.do>

ORTEGA, JAVIER; JOAQUÍN GONZÁLEZ Y VICTORIA MARRERO, «AHUMADA: A large corpus in Spanish for speaker characterization and identification», *Speech Communication* 31 (2-3), 2000, pp. 255-264.

PLOMIN, ROBERT; JOHN C. DEFRIES; GERALD E. MACCLEARN Y PETER MCGUFFIN, *Genética de la conducta*. Madrid, Alianza Editorial, 1984.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, *Diccionario de la Real Academia Española*, 22ª edición, 2 vols., Madrid, Espasa-Calpe, 2001.

SUNDBERG, JOHAN, «Observations on a professional soprano singer», *STL-QPSR* 1, 1973, pp. 14-24.

SUNDBERG, JOHAN, «Articulatory interpretation of the ‘singing formant’», *Journal of the Acoustical Society of America*, 55, 1974, pp. 838-844.

¹ La elaboración de este estudio ha sido posible gracias a la concesión de una beca del Programa Nacional de Formación de Profesorado Universitario (FPU) concedida por el Ministerio de Educación, con resolución del BOE del 11-07-2009. Quisiera agradecer al Dr. Joaquim Llisterri toda su ayuda y valiosos comentarios durante la elaboración de este trabajo. Cualquier error u omisión queda bajo mi entera responsabilidad.

² “Los hermanos, al igual que los progenitores e hijos, comparten la mitad de la varianza aditiva que afecta a un carácter.” (R. PLOMIN, J.C. DEFRIES, G.E., MACCLEARN Y PETER MCGUFFIN 1984: 265).

³ Se trata de un micrófono de diadema que, al encontrarse sujeto a la cabeza del informante por las orejas, permite mantener siempre la misma distancia con respecto a la boca del informante aunque este se mueva.

⁴ Faltan datos para la vocal /u/, ya que esta fue excluida del estudio porque en el corpus de trabajo dicha vocal no aparecía en contextos en sílaba abierta y entre oclusivas sordas o /s/.

⁵ Para comparar las medias de los grupos se ha prescindido de los valores de la vocal /u/, ya que el programa exige comparar el mismo número de valores para todos los grupos y no disponíamos de valores de /u/ para la población de referencia.