

Efectos del cambio de lengua en la comparación de voces mediante LTAS

ROSEANO, PAOLO; FERNÁNDEZ PLANAS, ANA MA.;
ELVIRA-GARCÍA, WENDY; MARTÍNEZ CELDRÁN,
EUGENIO

1 Introducción

A lo largo de las últimas décadas se ha ido definiendo un conjunto de parámetros acústicos que se consideran aptos para ser utilizados en la comparación de voces con finalidades judiciales (v. Gil, 2014). Entre ellos se encuentra el Espectro Medio a Largo Plazo (o LTAS) que, como es sabido, es una representación del espectro promediado de la amplitud en una gama de frecuencias dada calculado para un intervalo de tiempo.

Desde los primeros intentos de utilizar el LTAS para el reconocimiento automático del locutor (Pruzansky, 1963), se ha abierto un filón de investigación cuya finalidad es valorar la fiabilidad de esta técnica en la comparación de voces (Zalewski *et al.*, 1975; Pittam, 1987; Nolan, 1983, Molina de Figueiredo & Bernal, 1999; Cicres, 2011; i.a.). Uno de los aspectos que han recibido cierta atención es el de la efectividad de esta técnica en la comparación de muestras de voz del mismo locutor que difieren entre sí en cuanto a variaciones debidas a ajustes fonatorios o a efectos del canal de transmisión (Klingholz *et al.*, 1988, Nordenberg & Sundberg, 2003; i.a.). Una atención menor se ha dedicado a la aplicabilidad del LTAS en los casos donde las muestras de voz dubitada e indubitada son de lenguas distintas (a causa, por ejemplo, de que un sospechoso poco colaborativo se niegue a grabar en la misma lengua de la muestra dubitada).

Los trabajos que se centran en la aplicabilidad del LTAS en la comparación de muestras de voz producidas en lenguas distintas por hablantes bilingües, además de ser escasos, no coinciden en sus conclusiones. Mientras Harmegnies *et al.* (1991), por ejemplo, concluyen que las características de cada lengua no influyen sobre el LTAS, estudios como los de Bruyninckx *et al.* (1994) y Manwa *et al.* (2012) abogan que la lengua hablada tiene efectos sobre los LTAS. Cabe destacar también que ninguno de estos trabajos está enfocado a la fonética judicial.

2 Objetivos

Este trabajo tiene dos objetivos, de los cuales uno es de tipo teórico y el otro tiene una caracterización más bien aplicada. Desde una perspectiva más teórica, se pretende retomar el estudio de los efectos del cambio de lengua sobre el LTAS, filón de investigación que en los últimos 20 años ha sido objeto de una atención marginal.

El segundo objetivo, de carácter metodológico y aplicado, es desarrollar una propuesta de rutina de análisis del LTAS con fines judiciales. La rutina en cuestión, preparada en el entorno de Praat (Boersma & Weenink, 2013), permite medir las distancias entre muestras de habla basándose en el LTAS (Majewski & Hollien, 1974; Zalewski *et al.*, 1975). La automatización de la comparación entre los LTAS de dos muestras de voz no tiene como objetivo el de desautorizar al experto o de reducir la importancia de su papel, sino el de obviar algunos de los límites reconocidos de los métodos más tradicionales de comparación de muestras de habla, es decir su posible subjetividad y su alto coste en términos de tiempo necesario (Künzel, 2011: 39). Además, es importante subrayar como la literatura científica de los últimos años sugiere que la comparación automática del habla podría representar una ventaja justamente en los casos reales en los que se disponga de dos muestras de habla en lenguas diferentes una de las cuales sea poco conocida por el experto (Künzel, 2011: 41-42).

3 Metodología

3.1 Corpus

El corpus utilizado para este trabajo se compone de las grabaciones de 12 hablantes bilingües de italiano regional de Friul y del dialecto friulano del Bajo Valle de Gorto, 8 mujeres y 4 hombres, leyendo el texto de *El viento Norte y el sol* en ambas lenguas¹. Las grabaciones se efectuaron en una sola sesión para cada hablante, en casa del mismo, en una habitación silenciosa, mediante una grabadora digital Marantz modelo PMD620 que llevaba conectado un micrófono direccional Shure SM58. Los archivos de sonido se grabaron en formato .wav mono con una frecuencia de muestreo de 44.100 Hz.

La decisión de utilizar voces masculinas y femeninas, así como la de trabajar con grabaciones de alta calidad de habla de laboratorio realizadas en una sola sesión (todas condiciones diferentes de las que se darían en un caso judicial real) responden a la necesidad de testar, en esta primera fase, el funcionamiento del método automático de comparación de voces en una situación próxima a la ideal. Si el resultado fuera satisfactorio en estas condiciones, se podría pasar a otras fases de experimentación que consistirían, por ejemplo, en utilizar voces

¹ Los materiales se grabaron en diciembre de 2013 en el marco de un proyecto de investigación sobre las características rítmicas de lenguas en contacto (friulano e italiano) que el Laboratori de Fonètica de la Universitat de Barcelona está llevando a cabo en colaboración con la Universität Hamburg.

de hablantes del mismo sexo y con grados diferentes de alteración por efecto del canal de transmisión.

Los sistemas fonéticos del italiano y del friulano del Bajo Valle de Gorto presentan un grado de divergencia que podríamos definir moderado. En cuanto al sistema vocálico, ambas lenguas presentan siete timbres para las vocales tónicas [i, e, ε, a, ɔ, o, u], que en posición átona pasan a ser cinco en italiano [i, e, a, o, u] y seis en friulano [i, e, a, v, o, u]. En relación con los glides, ambas lenguas muestran los mismos, es decir [j, w]. Con respecto al sistema consonántico, las dos lenguas comparten una parte importante de elementos, es decir [m, n, ɲ, ŋ, p, b, t, d, k, g, \widehat{ts} , \widehat{dz} , $\widehat{tʃ}$, $\widehat{dʒ}$, f, v, s, z, ʃ, r, l]. A esos, el italiano regional añade [ʎ]; el friulano del Valle de Gorto [ʒ, c, ʝ]. En cuanto a la presencia de elementos geminados, cabe recordar que en friulano, a diferencia del italiano, existen también vocales tónicas fonológicamente largas [i:, e:, ε:, a:, ɔ:, o:, u:]. Además, mientras que el italiano presenta un repertorio muy amplio de consonantes geminadas, en friulano solamente se pueden producir en algunos casos por fonética sintáctica.

3.2 Script

La comparación entre los LTAS de las diferentes muestras se ha llevado a cabo mediante un script de Praat (Elvira-García *et al.*, 2014) que efectúa dos operaciones: 1) calcula el LTAS de cada muestra y, a continuación, 2) calcula las distancias entre ellos y las guarda en un documento de texto que puede ser gestionado mediante Excel.

3.2.1 Cálculo del LTAS

Las versiones más recientes de Praat permiten calcular, además del LTAS tradicional, también el pitch-corrected LTAS, que es una versión del LTAS que intenta corregir los efectos de las variaciones de F0 (Boersma y Kovačić, 2006) y que es la que se ha utilizado para este trabajo. El script que se ha predispuesto calcula el LTAS para un rango frecuencial que llega hasta los 8000 Hz, divididos en pasos de 100 Hz. Como resultado, el LTAS de cada muestra resulta ser una secuencia de 80 valores numéricos (figura 1), ordenados según la frecuencia a la cual corresponden. Los 80 valores numéricos en cuestión se guardan en una base de datos desde la cual se recuperarán en la fase siguiente del análisis.

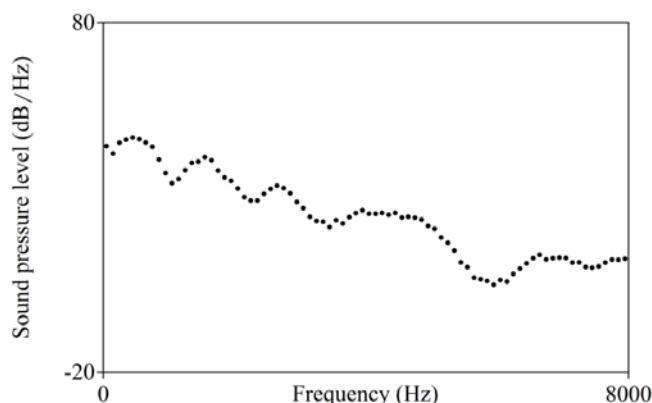


Figura 1. LTAS de un archivo que contiene la grabación de *El viento norte y el sol*

3.2.2 Cálculo del LTAS

Una vez determinado el LTAS de todas las muestras que se quieren comparar, el paso siguiente es el cómputo de las diferencias entre cada una de ellas y las demás. El cálculo de la diferencia entre dos secuencias de 80 números, que llamamos $LTAS_1$ y $LTAS_2$, es una operación matemática sencilla. La diferencia en cuestión, que denominamos Δ_{LTAS} , es la suma de los valores absolutos de las diferencias entre cada pareja de números que ocupan la misma posición en la secuencia dividida por el número de observaciones. En términos más formales:

$$\begin{aligned} LTAS_1 &= \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \dots x_{80}\} \\ LTAS_2 &= \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 \dots y_{80}\} \\ \Delta_{LTAS} &= \sum(|x_1 - y_1| + |x_2 - y_2| + |x_3 - y_3| + |x_4 - y_4| \dots + |x_{80} - y_{80}|) / 80 \end{aligned}$$

Cuanto más grande es Δ_{LTAS} , mayor es la diferencia entre los LTAS de las dos muestras. Si fuera cierto que, en hablantes bilingües, el cambio de lengua no produce ningún efecto apreciable sobre el LTAS (que podemos considerar nuestra hipótesis de trabajo o H_p), el Δ_{LTAS} entre las dos muestras del mismo sujeto hablando lenguas distintas debería ser inferior al Δ_{LTAS} entre cada una de esas muestras y cualquier otra muestra de sujetos distintos. En términos más formales, si definimos como Δ_{id} la distancia entre los LTAS de la muestra indubitada y la dubitada y como D el conjunto de las distancias Δ entre todas las muestras del corpus (con exclusión, obviamente, de Δ_{id}):

$$H_p \Leftrightarrow \forall \Delta \in D : \Delta_{id} < \Delta$$

No obstante, antes de verificar esta hipótesis a partir de los datos de nuestro corpus, es preciso efectuar algunas correcciones al modelo matemático – demasiado sencillo – que se acaba de presentar. Estas correcciones son requeridas por la naturaleza misma del LTAS. Recordamos, de hecho, que el LTAS es función, en primer lugar, de la *intensidad* de la señal en cada banda de frecuencia. Esto puede tener consecuencias nefastas a la hora de comparar los LTAS de dos muestras, como se demuestra en el ejemplo a continuación. Imaginemos que se graben dos sujetos (el hablante A y el hablante B) leyendo el mismo texto en castellano (*El viento norte y el sol*). El hablante A es grabado con una grabadora conectada con un micrófono direccional puesto a 30 cm de su boca. La muestra así obtenida se llamará α_{30} . El hablante B es grabado con dos grabadoras idénticas conectadas con dos micrófonos del mismo modelo, puestos a 30 y a 70 cm de su boca. Las muestras así obtenidas se llamarán β_{30} y β_{70} (figura 2).

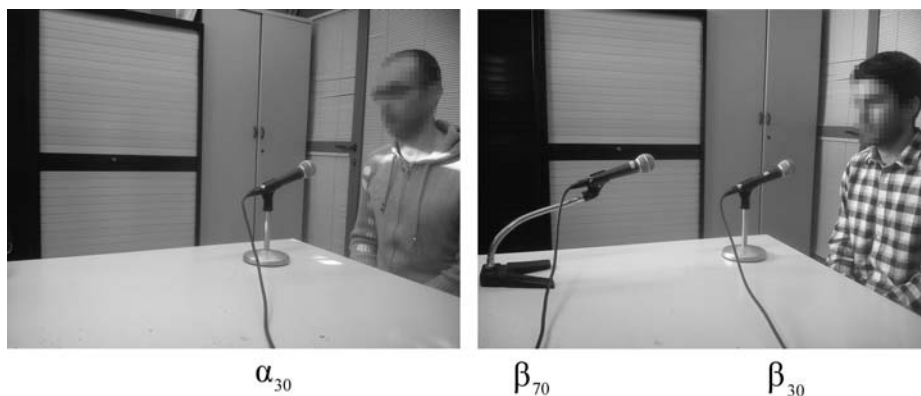


Figura 2. Condiciones de grabación del hablante A (panel de la izquierda) y del hablante B (panel de la derecha)

Los LTAS de las tres muestras, calculados con el método expuesto anteriormente, son las que se representan en la figura 3. Las dos líneas discontinuas representan la muestra β_{30} (línea de rayas, la más alta de las tres), la β_{70} (línea de puntos, la más baja) y la α_{30} (línea continua).

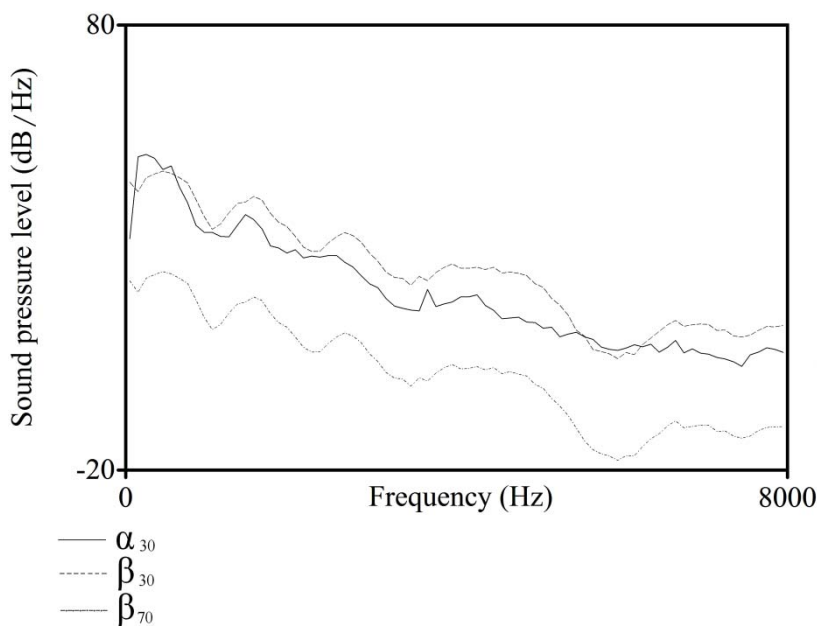


Figura 3. LTAS de las muestras α_{30} , β_{30} y β_{70}

De acuerdo con las fórmulas para el cálculo de la distancia que se han presentado anteriormente, la diferencia entre el LTAS de β_{30} y α_{30} sería mucho menor de la que hay entre los LTAS de β_{30} y β_{70} , a pesar de ser estas dos grabaciones de la misma emisión de voz. Por lo tanto, a partir del resultado de la fórmula en cuestión en un contexto judicial se tendría que rechazar la posibilidad de afirmar que β_{30} y β_{70} sean emisiones realizadas por el mismo hablante, ya que son las más diferentes del grupo. Esta conclusión es contraria a lo que sabemos que es cierto (y el ojo de un experto efectivamente reconoce que los LTAS de β_{30} y β_{70} tienen el mismo perfil, a pesar de encontrarse a alturas diferentes). El error deriva de la incapacidad de la fórmula antedicha para comparar eficazmente los perfiles de dos LTAS que, a pesar de tener un perfil

idéntico, se sitúan a alturas diferentes debido a la mayor/menor intensidad de grabación de la emisión.

La solución matemática que permite obviar errores tan evidentes consiste en calcular la media aritmética (\bar{x}) de los LTAS que se comparan y utilizarla para neutralizar las diferencias *globales* de intensidad entre las muestras, mientras las diferencias *locales*, es decir los picos y valles del LTAS, se mantienen. Por ejemplo, si comparamos los LTAS de β_{70} y β_{30} , observamos que \bar{x} (LTAS β_{70}) = 26 y \bar{x} (LTAS β_{30}) = 4, por lo tanto la diferencia entre las dos es $\Delta_{\bar{x}} = \bar{x}$ (LTAS β_{70}) - \bar{x} (LTAS β_{30}) = 22. Si, a continuación, sumamos a cada valor de la segunda secuencia del LTAS (en este caso β_{30}) el valor de la de $\Delta_{\bar{x}}$ neutralizamos el efecto de la diferencia global de intensidad. Si se quiere visualizar gráficamente esta corrección, en el caso de las curvas de los LTAS β_{30} y β_{70} de la figura 3 se puede decir que se desliza hacia arriba la línea discontinua inferior (β_{30}) de 22 unidades, hasta sobreponerla a la superior (β_{70}), con el resultado que se observa en la figura 4.

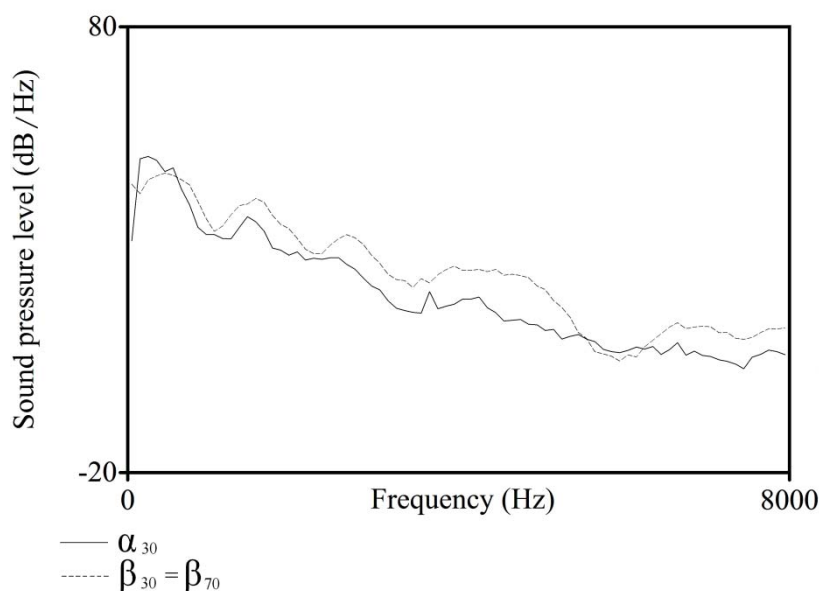


Figura 4. LTAS de las muestras α_{30} , β_{30} y β_{70} después de corregir los efectos de la intensidad global de la grabación

4 Resultados

Una vez calculadas las distancias entre el LTAS de cada muestra del corpus y los de todas las demás, se puede proceder a valorar si los resultados permiten confirmar nuestra hipótesis de trabajo, según la cual si es cierto que en hablantes bilingües el cambio de lengua no produce ningún efecto apreciable sobre el LTAS (o, en otras palabras, que el LTAS es un parámetro resistente al cambio de lengua), el Δ LTAS entre las muestras del mismo sujeto hablando dos lenguas distintas debe ser inferior al Δ LTAS entre cada una de las dos muestras del sujeto en cuestión y cualquier otra muestra de sujetos distintos. Esta hipótesis se cumple solo para 6 de los 12 informantes de nuestro corpus (figura 5).

N	distancia	S	S2	L1	L2	N	distancia	S	S2	L1	L2	N	distancia	S	S2	L1	L2	N	distancia	S	S2	L1	L2						
1	1.823782	02	02	ita	ita	57	3,748049	05	04	ita	ita	113	4,5573988	14	11	ita	ita	169	5,2742606	14	11	ita	ita	225	6,0719864	04	01	ita	ita
2	1.829295	06	06	ita	ita	58	3,7695174	03	02	ita	ita	114	4,5583423	13	12	ita	ita	170	5,2836707	11	05	ita	ita	226	6,0981932	04	01	ita	ita
3	1.936899	12	12	ita	ita	59	3,7785162	11	02	ita	ita	115	4,5674981	05	02	ita	ita	171	5,2898241	15	12	ita	ita	227	6,106689	10	04	ita	ita
4	2.202308	11	11	ita	ita	60	3,7796159	13	12	ita	ita	116	4,5675237	05	03	ita	ita	172	5,2947657	11	04	ita	ita	228	6,118825	10	02	ita	ita
5	2.281556	15	14	ita	ita	61	3,7902638	13	01	ita	ita	117	4,5868785	02	01	ita	ita	173	5,3025714	15	06	ita	ita	229	6,1305954	13	01	ita	ita
6	2.324756	14	14	ita	ita	62	3,8588683	03	01	ita	ita	118	4,6189917	06	03	ita	ita	174	5,3144265	10	02	ita	ita	230	6,1346357	14	13	ita	ita
7	2.358865	15	15	ita	ita	63	3,876015	11	01	ita	ita	119	4,6273547	04	03	ita	ita	175	5,3175988	12	05	ita	ita	231	6,1434437	14	11	ita	ita
8	2.409567	15	14	ita	ita	64	3,894169	13	02	ita	ita	120	4,6798393	11	10	ita	ita	176	5,3238184	15	02	ita	ita	232	6,157609	13	05	ita	ita
9	2.48638	15	10	ita	ita	65	3,9381838	03	02	ita	ita	121	4,6876054	12	10	ita	ita	177	5,3287122	05	01	ita	ita	233	6,1883119	12	04	ita	ita
10	2.550965	12	01	ita	ita	66	3,9459201	11	03	ita	ita	122	4,7051948	13	06	ita	ita	178	5,3508723	06	03	ita	ita	234	6,2777669	10	06	ita	ita
11	2.637762	12	11	ita	ita	67	3,9538445	05	04	ita	ita	123	4,7066011	02	01	ita	ita	179	5,3514761	14	03	ita	ita	235	6,3324038	10	04	ita	ita
12	2.646978	13	13	ita	ita	68	3,9541922	12	01	ita	ita	124	4,7144144	13	06	ita	ita	180	5,3650327	12	05	ita	ita	236	6,3656479	14	06	ita	ita
13	2.657574	12	11	ita	ita	69	3,9772263	12	10	ita	ita	125	4,7221318	10	03	ita	ita	181	5,3705186	02	01	ita	ita	237	6,3716675	06	01	ita	ita
14	2.695544	10	10	ita	ita	70	3,9932746	10	01	ita	ita	126	4,7364495	12	10	ita	ita	182	5,3821096	12	06	ita	ita	238	6,3921832	15	05	ita	ita
15	2.732518	05	05	ita	ita	71	4,0098588	13	02	ita	ita	127	4,7386446	13	11	ita	ita	183	5,4372312	15	11	ita	ita	239	6,3953489	14	05	ita	ita
16	2.737132	15	14	ita	ita	72	4,0135312	11	10	ita	ita	128	4,7415498	06	02	ita	ita	184	5,4404972	13	01	ita	ita	240	6,4003101	13	10	ita	ita
17	2.788951	12	01	ita	ita	73	4,0487825	08	03	ita	ita	129	4,7462712	12	06	ita	ita	185	5,4556826	04	03	ita	ita	241	6,4324102	14	03	ita	ita
18	2.885154	12	11	ita	ita	74	4,0502473	14	01	ita	ita	130	4,7482411	11	04	ita	ita	186	5,4958825	10	06	ita	ita	242	6,4594522	15	04	ita	ita
19	2.968571	15	10	ita	ita	75	4,0560455	13	02	ita	ita	131	4,7630066	10	02	ita	ita	187	5,510206	14	01	ita	ita	243	6,5027541	14	04	ita	ita
20	2.973785	11	03	ita	ita	76	4,0697353	14	11	ita	ita	132	4,7645328	03	01	ita	ita	188	5,5205824	15	03	ita	ita	244	6,5073828	13	05	ita	ita
21	2.992057	12	03	ita	ita	77	4,0969327	10	02	ita	ita	133	4,7655514	10	03	ita	ita	189	5,5288655	13	06	ita	ita	245	6,5381632	15	06	ita	ita
22	2.995343	06	04	ita	ita	78	4,1044663	14	03	ita	ita	134	4,776113	05	04	ita	ita	190	5,5495002	06	02	ita	ita	246	6,5466059	13	04	ita	ita
23	3,010459	13	12	ita	ita	79	4,1055801	13	11	ita	ita	135	4,7783661	06	02	ita	ita	191	5,6081708	06	05	ita	ita	247	6,565859	10	06	ita	ita
24	3,089423	01	01	ita	ita	80	4,115489	11	04	ita	ita	136	4,7856381	15	11	ita	ita	192	5,6510237	05	01	ita	ita	248	6,589456	13	04	ita	ita
25	3,082765	04	04	ita	ita	81	4,1254016	11	01	ita	ita	137	4,8074629	12	02	ita	ita	193	5,6658194	15	04	ita	ita	249	6,5901065	04	01	ita	ita
26	3,122116	03	01	ita	ita	82	4,1510002	15	03	ita	ita	138	4,8185952	14	03	ita	ita	194	5,6717351	06	01	ita	ita	250	6,6038721	13	04	ita	ita
27	3,14968	11	03	ita	ita	83	4,1578268	11	02	ita	ita	139	4,8428453	11	05	ita	ita	195	5,6772526	04	02	ita	ita	251	6,6046825	15	04	ita	ita
28	3,156878	15	11	ita	ita	84	4,1589351	06	04	ita	ita	140	4,845419	15	03	ita	ita	196	5,6809868	14	12	ita	ita	252	6,6143523	15	13	ita	ita
29	3,189692	12	11	ita	ita	85	4,1984762	11	06	ita	ita	141	4,8472784	13	12	ita	ita	197	5,6921174	12	04	ita	ita	253	6,6620877	14	10	ita	ita
30	3,201318	14	10	ita	ita	86	4,2481547	13	02	ita	ita	142	4,8493973	05	01	ita	ita	198	5,7133359	06	02	ita	ita	254	6,8420181	15	06	ita	ita
31	3,279953	10	03	ita	ita	87	4,2492439	12	02	ita	ita	143	4,8513194	15	13	ita	ita	199	5,7278332	13	05	ita	ita	255	6,9078272	13	04	ita	ita
32	3,293079	12	03	ita	ita	88	4,2530035	12	03	ita	ita	144	4,8581636	01	14	ita	ita	200	5,7533805	04	02	ita	ita	256	6,9456739	10	05	ita	ita
33	3,344809	06	04	ita	ita	89	4,2792913	10	01	ita	ita	145	4,8657634	06	01	ita	ita	201	5,7859903	14	02	ita	ita	257	7,0356706	14	05	ita	ita
34	3,372913	14	10	ita	ita	90	4,2841625	10	01	ita	ita	146	4,9019799	13	10	ita	ita	202	5,7957967	12	05	ita	ita	258	7,0733466	10	05	ita	ita
35	3,389067	15	03	ita	ita	91	4,3236761	11	01	ita	ita	147	4,9145105	05	02	ita	ita	203	5,7969752	15	13	ita	ita	259	7,0763516	14	04	ita	ita
36	3,445617	11	10	ita	ita	92	4,324982	02	01	ita	ita	148	4,9212734	06	05	ita	ita	204	5,7970767	13	05	ita	ita	260	7,1269199	15	02	ita	ita
37	3,462443	15	01	ita	ita	93	4,3397487	13	11	ita	ita	149	4,9226157	12	03	ita	ita	205	5,8249066	04	02	ita	ita	261	7,1434355	14	13	ita	ita
38	3,462651	15	12	ita	ita	94	4,340485	14	01	ita	ita	150	4,9342251	15	01	ita	ita	206	5,826769	10	05	ita	ita	262	7,1764371	13	10	ita	ita
39	3,466536	03	02	ita	ita	95	4,3701948	14	12	ita	ita	151	4,9496505	13	03	ita	ita	207	5,831728	13	03	ita	ita	263	7,1788596	15	05	ita	ita
40	3,477945	15	10	ita	ita	96	4,3801404	15	01	ita	ita	152	4,9549843	11	05	ita	ita	208	5,8573992	14	04	ita	ita	264	7,1790553	10	04	ita	ita
41	3,4784	03	02	ita	ita	97	4,3855506	12	02	ita	ita	153	4,9656834	05	02	ita	ita	209	5,8896757	13	06	ita	ita	265	7,1796349	14	02	ita	ita
42	3,495718	11	10	ita	ita	98	4,4006929	06	04	ita	ita	154	4,9690808	04	03	ita	ita	210	5,8940702	12	06	ita	ita	266	7,2294999	14	06	ita	ita
43	3,512876	15	01	ita	ita	99	4,4015751	05	02	ita	ita	155	4,973564	05	03	ita	ita	211	5,8951734	12	04	ita	ita	267	7,3960937	15	13	ita	ita
44	3,514671	12	10	ita	ita	100	4,4024957	11	03	ita	ita	156	5,0390311	04	03	ita	ita	212	5,8982711	15	06	ita	ita	268	7,448317	14	08	ita	ita
45	3,517787	15	12	ita	ita	101	4,419675	03	01	ita	ita	157	5,0427889	05	04	ita	ita	213	5,9046595	10	04	ita	ita	269	7,5160139	14	13	ita	ita
46	3,553667	11	01	ita	ita	102	4,4176631	14	12	ita	ita	158	5,1060044	10	01	ita	ita	214	5,9436431	04	01	ita	ita	270	7,5248048	15	04	ita	ita
47	3,571969	03	03	ita	ita	103	4,4256535	12	02	ita	ita	159	5,1211069	15	12	ita	ita	215	5,9446123	04	02	ita	ita	271	7,6451361	15	05	ita	ita
48	3,600046	10	03	ita	ita	104	4,4332542	13	03	ita	ita	160	5,1619977	12	05	ita	ita	216	5,9671681	13	10	ita	ita	272	7,8957202	14	05	ita	ita
49	3,617731	15	14	ita	ita	105	4,4344999	15	02	ita	ita	161	5,1918572	11	06	ita	ita	217	5,9759363	10	05	ita	ita	273	7,9040266	14	04	ita	ita
50	3,630145	13	11	ita	ita	106	4,436219	12	06	ita	ita	162	5,2044056	13	01	ita	ita	218	5,9791037	06	01	ita	ita	274	8,1378226	14	02	ita	ita
51	3,697113	11	02	ita	ita	107	4,447339																						

contra de la hipótesis de la fiscalía (es decir que la muestra dubitada y la indubitada provienen del mismo hablante)¹.

5 Conclusiones

Este trabajo, tal como se ha expresado en el apartado 2, tenía dos objetivos, de los cuales uno de carácter más teórico y el otro de tipo metodológico-aplicado. En cuanto a la pregunta de investigación teórica, se ha tenido que rechazar la hipótesis de trabajo, es decir que la diferencia entre los LTAS de las dos muestras del mismo sujeto *hablando lenguas distintas* debería ser inferior a la diferencia entre cada una de las esas muestras y cualquier otra muestra de sujetos distintos. Ya que esta hipótesis se ha rechazado, se ha tenido que concluir que el LTAS no parece un parámetro determinante en la comparación de muestras en lenguas distintas a la hora de avalar la hipótesis de la fiscalía, ni siquiera en condiciones experimentales ideales como las que se han utilizado (grabaciones de alta calidad, efectuadas en una sola sesión, de un número no especialmente grande de hablantes). No obstante, se ha observado como los datos proporcionados por la comparación automática de los LTAS, a pesar de no poder constituir un elemento a favor de la hipótesis de la fiscalía, podrían restarle credibilidad.

En cuanto al objetivo metodológico-aplicado, se ha podido definir un protocolo de análisis basado en un script de Praat que permite calcular automáticamente las distancias entre los LTAS de varias muestras. El script en cuestión, además de ser aplicable al caso de estudio concreto que se ha presentado, se puede utilizar en cualquier otra situación en que se quiera utilizar el LTAS como parámetro en la comparación de voces.

¹ Determinar la fuerza de esta evidencia contraria (es decir cuánto en contra de la hipótesis de la fiscalía están los datos del LTAS) y determinar la manera más adecuada para expresar esta conclusión constituyen un tema que trasciende las finalidades de este trabajo (v. Gil (2014) para una síntesis del debate sobre la presentación de los resultados de las comparaciones judiciales de muestras de habla).

6 Bibliografía

- Boersma, P., & Kovačić, G. (2006). Spectral characteristics of three styles of Croatian folk singing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119, 1805-1816.
- Boersma, P., & Weenink, D. (2013). Praat: doing phonetics by compute. Version 5.3.57. Descargado el 27 de octubre de 2013, de <http://www.praat.org/>
- Bruyninckx, M., Harmegnies, B., Llisterri, J., & Poch, D. (1994). Language-induced voice quality variability in bilinguals. *Journal of Phonetics*, 22, 19-31.
- Cicres, J. (2011). Los sonidos fricativos sordos y sus implicaciones forenses. *Estudios Filológicos*, 48, 33-48.
- Elvira García, W., Roseano, P., & Fernández Planas, A. M. (2014). Ltas differences. Praat script. Descargado el 23 de setiembre de 2013, de <http://stel.ub.edu/labfon/en>
- Gil, J. (2014). Más allá del “efecto CSI”: avances y metas en fonética judicial. En Y. Congosto, M. L. Montero Curiel, & A. Salvador (eds.), *Fonética Experimental, Educación Superior e Investigación*. Madrid: Arco Libros, vol. I, 63-112.
- Harmegnies, B., Bruyninckx, M., Llisterri, J., & Poch, D. (1991). Effects of language change in voice quality in bilingual speakers. Corpus content effects. En *Eurospeech 1991. Proceedings of the 2nd European conference on speech communication and technology*. Genova, Italy. 24-26 September, 1991. Vol. 1, 165-8.
- Klingholz, F., Penning, R., & Liebhart, E. (1988). Recognition of low-level of alcohol intoxication from speech signal. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84(3), 929-935.
- Künzel, H. (2011). La prueba de voz en la investigación criminalística. *Ciencia Forense*, INACIPE-Academia Iberoamericana de Criminalística y Estudios Forenses, 1(1), 37-50.
- Majewski, W., & Hollien, H. (1974). Euclidean distance between long-term speech spectra as a criterion for speaker identification. *Speech Communication Seminar*, 1-3.
- Manwa, L. Ng, Chen, Y., & Chan, E. Y. K. (2010). Cantonese and English Produced by Proficient Cantonese-English Bilingual Speakers – A Long-Term Average Spectral Analysis. *Journal of Voice*, 26(4), 171-176.
- Molina de Figueiredo, R., & Bernales, M. (1999). Reconocimiento de hablantes basado en el espectro a largo tiempo. En *Actas del VI Simposio Internacional de Comunicación Social*. Santiago de Cuba: Centro de Lingüística Aplicada, 1372-1378.
- Nolan, F. J. (1983). *The Phonetic Bases of Speaker Recognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nordenberg, M., & Sundberg, J. (2003). Effect on LTAS of vocal loudness variation. *TMH Quarterly Progress Status Report*, 1/2001.
- Pittam, J. (1987). The long term spectral measurement of voice quality as a social and personality marker: A review. *Language and Speech*, 30, 1-12.
- Pruzansky, S. (1963). Pattern-matching Procedure for Automatic Talker Recognition. *Journal of the Acoustical Society of America*, 35, 354-358.
- Zalewski, J., Majewski, W., & Hollien, H. (1975). Cross-correlation between Long-Term Speech Spectra as a criterion for speaker identification. *Acoustics*, 34, 20-24.

7 Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Institut für Romanistik de la Universität Hamburg, que ha puesto a disposición las grabaciones, y la Dra. Machuca de la Universitat Autònoma de Barcelona, puesto que gracias a una conversación mantenida con ella en el marco del posgrado en Estudios Fónicos del CSIC surgió la primera idea para este trabajo.