

ANÀLISI DE LA VARIACIÓ INTRA I INTER PARLANT EN LA FRICATIVA ALVEOLAR [s] DEL CASTELLÀ AMB FINALITAT FORENSE

Ana Ma. FERNÁNDEZ PLANAS
Universitat de Barcelona

Paolo ROSEANO
Universitat de Barcelona / University of South Africa

Wendy ELVIRA-GARCÍA
Universidad Nacional de Educación a Distancia

1. INTRODUCCIÓ

Una de les tasques més comunes en l'àmbit de la lingüística forense és la comparació d'una o més mostres de veus desconegudes (que se solen anomenar mostres *dubitades*) amb una o més mostres de veus conegudes (que se solen anomenar mostres *indubitades*), amb l'objectiu de verificar si poden haver estat produïdes pel mateix individu.

Els axiomes en què es fonamenta qualsevol comparació entre veus diferents són dos. Segons el primer, la veu de cada parlant és diferent de les veus de tots els altres. D'acord amb el segon, la veu d'un mateix parlant és variable al llarg del temps. És justament per aquest motiu que cal parlar de dos tipus de variació: la variació intraparlant i la variació interparlant.

La variació interparlant, és a dir el conjunt de diferències entre les veus de persones distintes, està relacionada amb dos tipus de factors: d'una banda trobem els factors interns, com les característiques anatòmiques i biomètriques de cada individu; i, d'altra banda, els factors externs, com són per exemple els factors socials, geogràfics i idiolectals. La variació intraparlant, és a dir el conjunt de variacions que s'observen a la veu d'un individu, es deu a canvis involuntaris en les condicions físiques (per exemple, un constipat o un estat de cansament), a condicions anímiques (per exemple, un estat de nerviosisme o de por) o, finalment, a canvis voluntaris en la producció de la veu (com ara xiuxiuejar o tapar-se el nas o, fins i tot, imitar volgutament una altra veu) (Hollien i Majewski 1977).

La comparació de veus amb finalitats judicials es fonamenta en la idea que la variació interparlant és, almenys idealment, més gran que la variació intraparlant (Rose 2002,

Gold / French 2011, Gil 2014). En altres paraules, per molt que variï la veu d'una persona, continuarà assemblant-se més a si mateixa que a la veu d'altres subjectes.

La reflexió metodològica de les últimes dècades en el sector de la fonètica forense s'ha centrat en dos grans objectius. El primer d'ells consisteix a determinar quins paràmetres acústics són els més útils. El segon objectiu se centra a desenvolupar eines informàtiques que permetin accelerar el treball, molt complex i llarg, de comparació de les veus i, alhora, proporcionar un fonament numèric i estadístic a les conclusions del pèrit (Gold 2011). De fet, d'alguna manera aquests dos aspectes reflecteixen una vella polèmica en el terreny forense, com en el terreny computacional, entre l'anomenat "coneixement expert" i el coneixement basat en models estocàstics o en sistemes biomètrics. El principal problema del primer és, de vegades, la manca d'un formalisme adient per a la representació de la informació rellevant; mentre que el segon incorpora la formulació pertinent per obtenir les dades rellevants a partir de les dades subministrades, sense que sigui possible esbrinar quina d'elles ha estat la més distintiva. La biometria, segons Maltoni *et al.* (2003) i Bolle *et al.* (2004), és la utilització de característiques distintives per reconèixer la identitat dels éssers humans. La veu és una d'aquestes característiques. Però la veu, alhora, comprèn un enorme conjunt de característiques tant segmentals com suprasedimentals que poden passar desapercibudes per separat en una anàlisi biomètrica, un tipus d'estudi que entra en l'àmbit que coneixem com a intel·ligència artificial. Tot i la utilitat i el futur del camí que obren les possibilitats ofertes per la biometria, ens proposem en aquest treball, com anunciarem més endavant (v. apartat 2), centrar-nos en el detall d'un segment concret, la fricativa alveolar, i analitzar-lo, a més a més de considerar els paràmetres acústics clàssics, a partir d'una tècnica poc emprada: l'LTAS, tot seguint la línia metodològica encetada a Roseano *et al.* (2015).

En relació amb els paràmetres acústics, diferents estudis (Kreiman / Sidtis 2011, Gil 2014) destaquen que en un escenari ideal aquests paràmetres haurien de tenir una sèrie de característiques, entre les quals hi trobaríem (Gil 2014):

- 1) presentar una variació intraparlant molt petita i una variació interparlant molt gran;
- 2) ser poc influenciables per factors estilístics, emocionals o paralingüístics;
- 3) poder ser extrets i analitzats fàcilment;
- 4) suportar bé les distorsions degudes al canal de comunicació (per exemple, el telèfon);
- 5) ser difícils de ser dissimulats voluntàriament;
- 6) ser independents entre si.

Tal com s'explicarà a l'apartat següent, les característiques en què es concentrarà aquest treball són les tres primeres.

Un dels segments que ha estat pres en consideració per a la comparació de veus és la fricativa alveolar [s]. Malgrat que aquest segment ha estat caracteritzat descriptivament per diversos autors des d'un punt de vista general (p. e. Borzone de Manrique / Massone 1981, Martínez Celdrán / Fernández Planas 2007), pocs són els estudis que en fan una descripció amb finalitat forense. Entre aquests últims trobem el treball de Hirson i Duckworth (1993), segons el qual, tot i que l'espectre del soroll de [s] és relativament

estable i robust, presenta propietats que depenen intrínsecament de les característiques físiques particulars de cada parlant. També Magrin-Chagnolleau *et al.* (1995) afirmen que [s] és un segment útil per caracteritzar un parlant; per tant, per individualitzar-lo a partir de la seva veu, aspecte crucial en l'àmbit de la fonètica forense. Estudis més recents, finalment, com el de Cicres (2011) o el de Univaso *et al.* (2013) utilitzen tècniques més innovadores per establir la variació intraparlant i interparlant en relació amb aquest segment. A Cicres (2011), concretament, els paràmetres que s'utilitzen en l'anàlisi de les fricatives són: el pic de major intensitat dels espectres, els quatre primers moments espectrals i els valors de les bandes de l'LTAS (*Long Term Average Spectrum*, és a dir espectre mitjà a llarg termini). Fernández Pons (2015) també utilitza la tècnica de l'LTAS en un treball sobre el mateix segment.¹

En relació amb aquest últim paràmetre, cal destacar que el seu ús en l'àmbit forense és relativament nou. De fet, encara que el primer intent d'ús d'aquest paràmetre ja es documenta a Pruzansky (1963), se'n poden trobar alguns altres treballs, pocs, en les dècades següents (Zalewski *et al.* 1975; Pittam 1987; Nolan 1983; Klingholz *et al.* 1988; Molina de Figueiredo / Bernales Lillo 1999; Nordenberg / Sundberg 2003; Cicres 2011). Més recentment, l'estudi de Roseano *et al.* (2015) també utilitza l'LTAS com un paràmetre acústic en la verificació forense del parlant, però no se centra específicament en les fricatives sinó en l'emissió global feta pel locutor, és a dir, en tota l'emissió enregistrada considerant tots els segments emesos.

2. OBJECTIUS I HIPÒTESIS

L'objectiu general d'aquest estudi és valorar la utilitat de la fricativa alveolar [s] del castellà en un marc judicial. Concretament, el present estudi pretén concentrar-se en les primeres tres característiques que hauria de tenir un escenari ideal (v. secció 1), és a dir presentar una variació intraparlant molt petita i una variació interparlant molt gran, no ser fàcilment influenciable per factors emocionals, estilístics o paralingüístics i utilitzar un paràmetre relativament fàcil d'extreure i mesurar. De l'acabat d'esmentar se'n desprenen dues hipòtesis de treball:

- 1) la variació que hi haurà entre les realitzacions del so fricatiu alveolar d'un mateix parlant serà menor que la variació que hi ha entre els sons fricatiu alveolars dels diferents parlants,
- 2) la variació intraparlant segons el grau de formalitat de les mostres no serà significativa.

La importància de la segona d'aquestes hipòtesis en un context judicial queda patent si es considera el fet que les mostres dubitades i indubitades solen ser d'estils de parla diferents: altament espontànies les primeres, més formals les segones.

1. Agraïm a Xènia Fernández Pons la seva ajuda en aquest estudi.

3. METODOLOGIA

3.1. INFORMANTS

En aquest estudi han participat deu parlants femenines d'entre 18 i 25 anys residents a Barcelona. Totes elles són estudiants universitàries de la Universitat de Barcelona. D'aquestes informants, set tenen el català com a llengua dominant; tres, el castellà.

3.2. CORPUS I CONDICIONS D'ENREGISTRAMENT

Les informants han dut a terme dues tasques. D'una banda, han llegit en castellà el conegut text *El viento norte y el sol* com a mostra d'elocució formal. D'altra banda, han fet un discurs espontani de tema lliure, també en castellà, que constitueix la mostra d'elocució informal. La decisió metodològica de comptar amb gravacions de nivells de formalitat diferents respon a la necessitat de testar la segona de les nostres hipòtesis de treball.

Les gravacions del text de *El viento norte y el sol* tenen una durada mitjana de 34,47 s de parla útil (sense comptar silencis ni interrupcions), amb una desviació estàndard de 3,3 s. Les gravacions del discurs espontani tenen una durada mitjana de 136,03 s de parla útil, amb una desviació estàndard de 14,8 s. Totes les gravacions s'han realitzat en una única sessió per a cada parlant al Laboratori de Fonètica de la Universitat de Barcelona, mitjançant un micròfon Audio Technica AT 2020 USB connectat a PC. Els arxius s'han gravat en format .wav mono amb una freqüència de mostreig de 22.050 Hz.

La decisió d'utilitzar enregistraments d'alta qualitat realitzats en una sola sessió (condicions diferents de les que es donarien en un cas judicial real) responen a la necessitat de testar, en aquesta primera fase, la robustesa dels paràmetres en una situació propera a la ideal. Si el resultat fos satisfactori en aquestes condicions, es podria passar a altres fases d'experimentació que consistirien, per exemple, a utilitzar mostres amb graus diferents d'alteració per efecte del canal de transmissió.

La decisió d'incloure una parlant no nativa bilingüe de català i castellà també respon a la voluntat d'inscriure el treball en una fase inicial per ajudar a testar la robustesa del paràmetre acústic analitzat amb el paràmetre metodològic emprat, l'LTAS, ja que s'espera que aquesta informant produeixi unes fricatives alveolars diferents a les de la resta de persones analitzades i aquest fet es destaquí visualment de forma clara en els mapes de distàncies virtuals que ofereix la tècnica estadística de l'MDS que s'explica a l'apartat 3.5.

3.3. SEGMENTACIÓ DEL CORPUS

El so fricatiu alveolar [s] s’ha identificat i segmentat tant en posició explosiva com implosiva. En totes dues posicions s’hi ha trobat mostres del segment /s/ sonoritzat com a efecte de la coarticulació (en casos de posició implosiva seguida de consonant sonora, segons els principis fonotàctics del castellà) o perquè l’emissió real de les informants en qüestió ha estat així (és sabut que, de vegades en parla espontània, i fins i tot en discurs llegit, es produeixen articulacions anòmales, segons la teoria (Lindblom 1990)). Per aquest motiu, s’han codificat, d’una banda, com a “s1” els segments sords [s] en posició explosiva, i com a “z1” els segments sonors [z] en aquesta mateixa posició; d’altra banda, s’han etiquetat com a “s2” els segments sords [s] en posició implosiva, i com a “z2” els segments sonors [z] en aquesta mateixa posició.

En total, s’han obtingut 1.284 segments, dels quals 282 corresponen al text de *El viento norte y el sol* i 1.002 corresponen al discurs espontani. La Taula 1 resumeix el nombre de segment utilitzats.

		<i>El viento norte y el sol</i>				Discurs espontani			
		s1	s2	z1	z2	s1	s2	z1	z2
Parlants	A	15	11	1	1	17	47	4	26
	AM	16	12	0	0	30	48	5	19
	E	14	10	2	2	24	48	5	7
	G	17	11	0	1	25	31	1	19
	L	16	12	0	0	23	54	1	0
	M	17	10	0	2	15	49	0	8
	MAR	15	11	0	1	26	60	2	22
	MM	17	12	0	0	43	65	0	2
	N	16	11	0	1	21	39	1	13
S	16	11	0	1	32	59	0	11	
Total		159	111	3	9	256	500	19	127
		282				1.002			
		1.284							

Taula 1. Resum del nombre de segments analitzats segons el tipus d’elocució, la posició del segment, la sonoritat i el parlant.

Els segments sonoritzats no s’han tingut en compte en l’estudi perquè n’hi havia pocs casos, especialment en el discurs formal, i, per això, no teníem elements suficients per dur a terme una comparació entre els dos graus de formalitat. D’aquesta manera, el corpus analitzat conté 1.026 segments sords, dels quals 270 han estat obtinguts de les gravacions d’estil formal i 756 de les d’estil informal.

3.4. ANÀLISI ACÚSTICA

L'anàlisi acústica s'ha dut a terme amb el *software* Praat (Boersma / Weenik 2015). La segmentació explicada en el paràgraf anterior s'ha realitzat manualment en un *TextGrid*. Un cop s'han obtingut els segments per separat i fora del seu context, s'han dut a terme anàlisis acústiques amb scripts de Praat (Elvira-García 2014, Elvira-García *et al.* 2014) per calcular els valors dels paràmetres acústics que es detallen a la Taula 2. Els resultats obtinguts dels scripts han estat endreçats en arxius de text que s'han gestionat amb el programa de càlcul Excel i, posteriorment, s'han passat al paquet estadístic SPSS per a l'anàlisi estadística.

PARÀMETRE		DESCRIPCIÓ I MÈTODE D'EXTRACCIÓ
durada del segment /s/		És el temps que triga en manifestar-se el segment. En el treball s'expressa en mil·lisegons (ms). S'extreu amb l'script anomenat <i>Zero crossing and spectral moments</i> (Elvira-García 2014).
freqüència de màxima intensitat		És, en termes tècnics, el pic espectral més alt amb exclusió de l'F0; en altres paraules, és el valor freqüencial en què es presenta en l'espectrograma la major negror. S'expressa en Hz. Es calcula a partir del pic espectral del LTAS del so complet amb un filtre de pas de 1000Hz a 11.000Hz.
passes per zero (<i>zero crossing</i>)		Són les passes de l'ona sonora per la línia de base que representa el valor zero. En altres paraules, un <i>zero crossing</i> és un punt on l'ona de l'oscil·lograma intercepta l'eix horitzontal. El nombre de vegades que això passa en la unitat de temps escollida es mesura amb l'script anomenat <i>Zero crossing and spectral moments</i> (Elvira-García 2014).
<i>spectral moments</i>	centre de gravetat	Mesura la concentració mitjana d'energia en l'espectre. Es calcula a partir de l'espectre del so complet amb un filtre de pas de 1000 a 11000Hz. S'extreu amb l'script anomenat <i>Zero crossing and spectral moments</i> (Elvira-García 2014).
	desviació estàndard de les freqüències de l'espectre respecte el centre de gravetat	Reflecteix la dispersió de les freqüències de l'espectre respecte el centre de gravetat. Es computa calculant l'arrel quadrada del segon moment espectral. Es calcula a partir de l'espectre del so complet amb un filtre de pas de 1000 a 11000Hz. S'extreu amb l'script anomenat <i>Zero crossing and spectral moments</i> (Elvira-García 2014).
	curtosi	Indica si l'espectre és punxegut. Els valors positius indiquen espectres punxeguts, i els valors negatius, espectres més aviat plans. Es calcula a partir de l'espectre del so complet amb un filtre de pas de 1000 a 11000Hz. <i>Zero crossing and spectral moments</i> (Elvira-García 2014).

(Continua)

<i>spectral moments</i>	asimetria	Està relacionada amb la distribució de l'energia als dos costats del centre de gravetat. Es calcula a partir de l'espectre del so complet amb un filtre de pas de 1000 a 11000Hz. <i>Zero crossing and spectral moments</i> (Elvira-García 2014).
<i>long-term average spectrum</i> (LTAS) o espectre mitjà a llarg termini		Es tracta de la representació de l'espectre mitjà de l'amplitud durant un cert interval de temps en un cert rang de freqüència. En comparació amb altres paràmetres acústics, té l'avantatge de ser més estable. S'extreu amb l'script anomenat <i>LTAS differences</i> .

Taula 2. Paràmetres acústics utilitzats en l'anàlisi.

La majoria dels paràmetres acústics que s'utilitzen en aquest estudi amb finalitats judicials troben els seus antecedents més directes en treballs previs. De fet, Cicres (2011) fa servir els quatre primers moments espectrals de les fricatives i l'LTAS de manera similar al que presentem en aquest estudi, però en aquesta recerca apliquem a les dades de l'LTAS proves estadístiques diferents de les utilitzades a Cicres 2011 (v. secció 3.5).

Un dels aspectes innovadors d'aquest treball consisteix a introduir l'estudi de les passes per zero (*zero crossings*), un paràmetre que ja s'havia emprat per a l'anàlisi de les fricatives (p. e. Gordeeva / Scobbie 2010), però mai amb finalitats judicials. Ja que el nombre de passes per zero es veu afectat per la durada del segment, en aquest treball els *zero crossings* s'han mesurat de tres formes diferents, de manera que, a més del nombre absolut de passes per zero, es disposés també de dues mesures normalitzades:

- 1) nombre absolut de passes per zero de tot el segment analitzat;
- 2) nombre normalitzat de passes per zero dels primers 30 mil·lisegons;
- 3) nombre normalitzat de passes per zero, calculat dividint el nombre de passes per zero de tot el segment per la durada del segment mateix i multiplicant el resultat per deu (d'aquesta manera la mesura final és el nombre mitjà de passes per zero per 10 ms).

3.5. ANÀLISI ESTADÍSTICA

D'una banda, s'ha fet servir el paquet estadístic SPSS 21 per fer una anàlisi de la variància (ANOVA) dels diferents paràmetres acústics obtinguts amb l'script *Zero crossing and spectral moments*. S'han realitzat quatre tipus diferents d'anàlisis: 1) una anàlisi d'estadística descriptiva bàsica en cada condició d'estudi; 2) una anàlisi que estableix les diferències entre l'elocució formal i l'elocució informal a cada persona; 3) una tercera anàlisi que estableix les diferències entre l'elocució formal i la informal globalment sense tenir en compte les diverses informants; i 4) una darrera anàlisi que estableix les diferències entre les informants sense tenir en compte els diferents tipus de discurs.

Els tests que s'han fet servir són els següents. S'ha emprat el test Shapiro-Wilk per comprovar la normalitat de les dades. Ja que totes les dades s'ajusten a una distribució normal, hem emprat tests paramètrics per realitzar les comparacions de poblacions. Es-

pecíficament, s'han emprat: a) el t-test quan es fan comparacions entre dos grups (diferències entre la mitjana de dues poblacions) i b) el test ANOVA quan les dades provenien de més de dues poblacions. En aquest últim cas, s'ha escollit el test post-hoc de Scheffé per comprovar per a quins parlants la variable escollida era significativa.

D'altra banda, l'anàlisi de l'LTAS s'ha realitzat mitjançant un full de càlcul Excel i s'han extret les dades rellevants manualment. S'han dut a terme tres tipus de comparacions: 1) en primer lloc, es comparen els diferents parlants en el discurs espontani i es donen les distàncies de l'LTAS; 2) en segon lloc, es comparen els diferents parlants en el discurs formal del text de *El viento norte y el sol* i es donen les distàncies entre ells; i 3) en darrer lloc, es comparen els diferents parlants tant en el discurs espontani com en el discurs del text de *El viento norte y el sol* i es donen les distàncies entre ells. Amb les mitjanes de les dades obtingudes d'aquesta última anàlisi s'ha elaborat una matriu de distàncies. Per tal de poder visualitzar les dades d'una manera més intuïtiva, s'han importat les matrius de distàncies al paquet estadístic SPSS i, fent servir la tècnica estadística d'escalament multidimensional o *multidimensional scaling (MDS)*,² s'han transformat les matrius en qüestió en una representació en un espai de dues dimensions. El resultat de les anàlisi EMD és un diagrama de dispersió (*scatterplot*) on hi ha representat un punt per individu en el qual els individus que s'assemblen surten a la gràfica més a prop i els individus molt diferents surten lluny.

4. RESULTATS

4.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

En aquest apartat es presenta un resum de la mitjana dels valors dels diferents paràmetres acústics de la fricativa alveolar sorda, tant en posició explosiva com implosiva, i, tant en el discurs de *El viento norte y el sol* com en el discurs espontani, a cadascuna de les informants. Els paràmetres acústics que apareixen en aquestes quatre taules (Taules 3 a 6) són la durada, els *zero crossings* (passes per zero), la freqüència de màxima intensi-

2. Com és sabut, l'escalament multidimensional (o MDS, de l'anglès *multidimensional scaling*) és una tècnica que permet visualitzar el nivell de similitud entre els individus d'un conjunt. S'utilitza per traduir la informació sobre les distàncies numèriques (contingudes en una matriu de distància) entre els N elements d'un conjunt en una configuració de N punts mapats en un espai cartesià. Donada una matriu de distància entre cada parell d'objectes del conjunt, i un nombre N de dimensions determinat per l'investigador, un algorisme de MDS situa cada objecte en un espai en N dimensions de manera que les distàncies entre objectes es conservin al màxim. En el cas d'aquest treball, l'algorisme emprat és el de la distància euclidiana. Els valors d'*stress* i de RSQ de cada mapa MDS indiquen el grau de precisió de la representació gràfica. En concret, el valor de l'*stress* indica el nivell de diferència entre les distàncies reals i els valors previstos (un *stress* de 0,2 es considera excessiu; de 0,1 acceptable; de 0,05 bo; de 0,025 excel·lent; de 0,0 perfecte). El coeficient de correlació al quadrat (RSQ) ens informa de la proporció de variabilitat de les dades de partida que és explicada pel model (els valors que pot prendre oscil·len entre 0 i 1; valors propers a 1 indiquen que el model és bo i valors propers a 0 indiquen que el model és dolent) (Arce 1993, Borg / Groenen 2005).

tat, el centre de gravetat, l'asimetria, la curtosi i la desviació estàndard. Per a tots els paràmetres en qüestió, els test de Shapiro-Wilk ha confirmat que presenten una distribució normal en cada informant i estil de parla.

	A	AM	E	G	L	M	MAR	MM	N	S
Durada	81 (20)	92 (13)	83 (20)	95 (17)	116 (32)	87 (14)	83 (14)	95 (16)	78 (17)	86 (18)
Zero crossings als primers 30 ms	254 (75)	185 (67)	188 (82)	280 (55)	200 (74)	264 (73)	247 (48)	215 (55)	263 (84)	221 (96)
Zero crossings a l'interval sencer	744 (280)	678 (224)	647 (285)	1013 (225)	981 (399)	867 (204)	727 (181)	750 (198)	797 (242)	770 (312)
Zero crossings normalitzat	91 (24)	72 (18)	74 (18)	106 (18)	82 (12)	99 (17)	87 (12)	78 (12)	100 (18)	88 (26)
Freqüència de màxima intensitat	6093 (2375)	4915 (1143)	5115 (1507)	6224 (1963)	4091 (857)	6032 (1122)	5335 (1449)	4528 (474)	7232 (1832)	5754 (1471)
Centre de gravetat	4393 (1600)	3588 (1300)	3742 (1300)	5505 (1200)	4556 (567)	5161 (1200)	4405 (850)	3664 (822)	5077 (1500)	4118 (1900)
Asimetria	-0,04 (0,8)	0,09 (0,9)	0,03 (0,8)	-0,73 (0,6)	-0,26 (0,4)	-0,88 (0,7)	-0,18 (0,5)	-0,11 (0,4)	-0,37 (0,9)	-0,01 (1,1)
Curtosi	-0,19 (1,5)	-0,11 (1,7)	-0,50 (1,1)	0,56 (1,4)	0,67 (1,1)	0,80 (2,4)	-0,87 (0,6)	0,44 (1,7)	-0,18 (1,4)	0,06 (1,6)
Desviació estàndard de les freqüències de l'espectre respecte el centre de gravetat	2886 (680)	2564 (491)	2610 (329)	2616 (553)	1861 (277)	2491 (462)	3019 (303)	2125 (447)	3066 (562)	2909 (439)

Taula 3. Resum de la mitjana (*i*, entre parèntesis, de la desviació estàndard) de les dades dels paràmetres acústics dels segments en posició explosiva en el discurs de *El viento norte y el sol* a cadascuna de les informants (identificades amb unes inicials fictícies).

	A	AM	E	G	L	M	MAR	MM	N	S
Durada	89 (34)	91 (20)	87 (20)	105 (24)	127 (52)	102 (30)	79 (15)	104 (31)	78 (18)	89 (48)
Zero crossings als primers 30 ms	181 (73)	144 (79)	110 (56)	212 (93)	205 (64)	168 (59)	219 (69)	193 (69)	164 (70)	241 (95)
Zero crossings a l'interval sencer	689 (360)	614 (289)	448 (227)	989 (423)	977 (448)	814 (381)	624 (183)	799 (364)	539 (222)	873 (742)
Zero crossings normalitzat	74 (16)	66 (24)	49 (17)	91 (27)	76 (15)	78 (18)	77 (14)	75 (14)	67 (18)	92 (23)
Freqüència de màxima intensitat	5304 (1039)	5230 (1173)	4333 (1352)	6550 (1696)	4272 (980)	6210 (985)	6614 (1360)	4838 (974)	5892 (1590)	5641 (1365)

(Continua)

Centre de gravetat	3438 (1200)	2744 (1500)	1857 (1100)	4524 (1900)	4161 (957)	4205 (1400)	3943 (1000)	3796 (989)	2912 (1100)	4180 (1900)
Asimetria	0,03 (0,8)	0,62 (1,2)	1,71 (1,7)	-0,22 (1,3)	-0,33 (0,7)	-0,44 (1,1)	0,02 (0,5)	-0,11 (0,5)	0,64 (0,9)	-0,04 (1,3)
Curtosi	-0,43 (1,1)	0,80 (3,4)	4,90 (12)	1,00 (2,4)	2,17 (3,7)	0,09 (2,8)	-1,31 (0,4)	-0,47 (0,8)	-0,21 (2,2)	1,64 (3,9)
Desviació estàndard de les freqüències de l'espectre respecte el centre de gravetat	2567 (533)	2430 (567)	2248 (653)	2621 (629)	1733 (416)	2745 (564)	3258 (281)	2453 (356)	3002 (549)	2519 (618)

Taula 4. Resum de la mitjana (i, entre parèntesis, de la desviació estàndard) de les dades dels paràmetres acústics dels segments en posició explosiva en el discurs espontani a cadascuna de les informants (identificades amb unes inicials fictícies).

	A	AM	E	G	L	M	MAR	MM	N	S
Durada	69 (19)	74 (12)	64 (21)	86 (27)	84 (15)	71 (22)	68 (13)	73 (20)	73 (25)	77 (19)
Zero crossings als primers 30 ms	271 (74)	164 (91)	211 (66)	262 (59)	209 (58)	247 (39)	271 (49)	218 (39)	284 (94)	264 (79)
Zero crossings a l'interval sencer	573 (273)	502 (234)	461 (212)	839 (338)	666 (202)	577 (191)	606 (180)	560 (205)	713 (242)	675 (364)
Zero crossings normalitzat	80 (19)	66 (27)	70 (20)	96 (22)	77 (15)	82 (13)	87 (17)	75 (11)	99 (26)	83 (29)
Freqüència de màxima intensitat	5583 (2422)	4636 (1081)	4993 (1699)	6690 (1785)	4013 (925)	5033 (1463)	5657 (684)	4660 (1280)	7082 (2329)	6131 (1702)
Centre de gravetat	3942 (1500)	2535 (1600)	3447 (1300)	4932 (1100)	4084 (666)	3867 (984)	4488 (1000)	3284 (785)	5293 (1900)	4110 (2000)
Asimetria	0,02 (0,7)	1,08 (1,5)	0,24 (0,8)	-0,45 (0,5)	-0,20 (0,4)	-0,22 (0,6)	-0,26 (0,5)	0,11 (0,5)	-0,59 (1,1)	-,00 (1,0)
Curtosi	-0,54 (0,6)	2,38 (5,2)	-0,40 (1,4)	-0,57 (1,1)	0,56 (1,2)	-0,71 (0,8)	-0,66 (0,9)	-0,42 (0,7)	1,01 (4,1)	-0,28 (1,3)
Desviació estàndard de les freqüències de l'espectre respecte el centre de gravetat	2792 (508)	2278 (631)	2760 (462)	3003 (440)	1924 (350)	2649 (392)	2882 (426)	2356 (377)	2838 (692)	2980 (431)

Taula 5. Resum de la mitjana (i, entre parèntesis, de la desviació estàndard) de les dades dels paràmetres acústics dels segments en posició implosiva en el discurs de *El viento norte y el sol* a cadascuna de les informants (identificades amb unes inicials fictícies).

	A	AM	E	G	L	M	MAR	MM	N	S
Durada	87 (35)	78 (35)	97 (61)	96 (57)	109 (63)	96 (60)	87 (44)	134 (108)	78 (29)	96 (89)
Zero crossings als primers 30 ms	160 (80)	122 (61)	98 (70)	182 (92)	188 (57)	151 (58)	174 (73)	168 (65)	143 (68)	233 (84)
Zero crossings a l'interval sencer	517 (298)	434 (299)	531 (627)	762 (644)	833 (607)	698 (622)	538 (361)	959 (897)	417 (258)	958 (1233)
Zero crossings normalitzat	57 (21)	52 (20)	45 (26)	73 (29)	72 (18)	67 (19)	60 (21)	69 (20)	51 (22)	89 (27)
Freqüència de màxima intensitat	4429 (1095)	4642 (1217)	4684 (1626)	5554 (2041)	4130 (1053)	5277 (952)	5425 (1865)	4449 (1179)	5304 (1894)	5712 (1760)
Centre de gravetat	2644 (1300)	2100 (1200)	1537 (1300)	3198 (1898)	3844 (1000)	3373 (1,4)	2896 (1,4)	3335 (1200)	2491 (1400)	4487 (1700)
Asimetria	0,57 (1,6)	1,38 (1,7)	2,85 (3,3)	0,72 (1,8)	-0,12 (0,8)	-0,04 (0,9)	0,82 (1,4)	0,27 (1,1)	1,08 (2,0)	-0,13 (1,0)
Curtosi	2,34 (6,7)	4,31 (13,3)	21,03 (46,2)	2,85 (9,3)	1,70 (2,9)	-0,37 (1,9)	1,44 (8,1)	0,84 (4,8)	4,29 (11,7)	0,24 (2,4)
Desviació estàndard de les freqüències de l'espectre respecte el centre de gravetat	2145 (638)	2284 (644)	1918 (793)	2639 (728)	1765 (436)	2535 (464)	2780 (598)	2312 (502)	2546 (887)	2685 (533)

Taula 6. Resum de la mitjana (i, entre parèntesis, de la desviació estàndard) de les dades dels paràmetres acústics dels segments en posició implòsiva en el discurs espontani a cadascuna de les informants (identificades amb unes inicials fictícies).

4.2. ESTABILITAT INTRAPARLANT DELS PARÀMETRES EN CADA REGISTRE

Per tal de comprovar si els paràmetres acústics de les sibilants són estables en cada informant (o, en altres paraules, si la [s] és un segment que presenta una variabilitat intraparlant baixa), es necessiten dades homogènies quant a tots els factors (posició implòsiva/explosiva, estil). Per aquest motiu, s'ha dividit el conjunt de les consonants produïdes per cada parlant en cada posició i estil en dos grups de dimensions comparables. A continuació, s'ha dut a terme un test de Student amb la finalitat de comprovar que no hi hagi diferències intraparlant significatives. Els resultats de la prova (Taula 7) indiquen que no hi sol haver diferències significatives entre les realitzacions d'[s] en cada parlant. Tot i això, la fiabilitat dels paràmetres és diferent: mentre que alguns (com el zero crossing normalitzat, el centre de gravetat, la freqüència de màxima intensitat i la desviació estàndard) són estables intraparlant, altres ocasionalment no ho són (com la durada, els *zero crossings* a l'interval sencer i l'asimetria), i la curtosi és força inestable.

	espontani		no espontani	
	explosiva	implosiva	explosiva	implosiva
Durada		1		
<i>Zero crossings</i> als primers 30 ms				
<i>Zero crossings</i> a l'interval sencer		1		1
<i>Zero crossings</i> normalitzat				
Freqüència de màxima intensitat				
Centre de gravetat				
Asimetria				1
Curtosi	2		1	1
Desviació estàndard				

Taula 7. Nombre de casos (sobre 10) en què hi ha diferències intraparlant significatives (al nivell $p < 0.01$) per a cada paràmetre, segons el tipus de text (espontani o no espontani) i la posició de la /s/ (implosiva o explosiva).

4.3. ESTABILITAT INTRAPARLANT DELS PARÀMETRES EN REGISTRES DIFERENTS

Tal com es recorda, un dels objectius d'aquest treball és valorar si el registre (més o menys espontani) té alguna influència sobre la realització de la fricativa objecte d'estudi. La importància d'aquest objectiu en un context judicial està relacionada amb el fet que les mostres dubitades i indubitades solen ser d'estils de parla diferents: altament espontànies les primeres, més formals les segones. Per tal de comprovar si hi ha diferències significatives en aquest sentit, s'ha dut a terme un test de Student contrastant les dades de les gravacions espontànies i no espontànies de cada informant. Els resultats (Taula 8) indiquen que, en general, l'estabilitat dels paràmetres de la [s] es veu d'alguna manera afectada pel canvi de registre. De fet, si es comparen la Taula 7 i la 8, es nota immediatament que el nombre de casos en què apareixen diferències intraparlant significatives és quatre vegades més gran en aquest cas.

Aquesta constatació permet formular un suggeriment metodològic que constitueix el primer dels resultats d'aquest treball: com que els paràmetres de la fricativa [s] mostren un cert grau de variabilitat en relació amb l'estil de parla, en un marc judicial seria aconsellable comparar la gravació dubitada (sempre espontània) amb gravacions indubitades del mateix estil. Per aquest motiu, als apartats següents només s'analitzaran les dades de parla espontània.

	explosiva	implosiva
Durada		
<i>Zero crossings</i> als primers 30 ms	4	5
<i>Zero crossings</i> a l'interval sencer	1	1
<i>Zero crossings</i> normalitzat	3	4
Freqüència de màxima intensitat	1	
Centre de gravetat	2	5
Asimetria	2	
Curtosi	1	
Desviació estàndard	1	2

Taula 8. Nombre de casos (sobre 10) en què hi ha diferències intraparlant significatives (al nivell $p < 0.01$) entre registres diferents (espontani o no espontani) per a cada paràmetre, diferenciant entre la posició implosiva o explosiva del segment.

4.4. DIFERÈNCIES INTERPARLANT EN PARLA ESPONTÀNIA

Un dels objectius d'aquest treball és establir quin(s) dels paràmetres acústics de la fricativa [s] permet(en) distingir entre parlants diferents. L'ANOVA (que pren com a variables independents els 10 parlants i dependents els 9 paràmetres acústics analitzats) indica que hi ha diferències significatives ($p < 0.01$) per a tots els paràmetres considerats i per a totes dues posicions de la [s] (explosiva i implosiva). El test post-hoc de Scheffé permet de detallar entre quins parlants hi ha diferències significatives per a cada paràmetre.

A la Taula 9 (vegeu pàgina següent) es presenten els resultats dels paràmetres significatius per a [s] en posició explosiva. Els números de les capçaleres identifiquen els parlants. Les cel·les de la taula contenen els nombres que indiquen els paràmetres que són significatius per a cada parella de parlants (i al peu de la taula s'explica quin paràmetre indica cada nombre). Es nota que no hi ha cap patró fix: no hi ha cap paràmetre que permeti distingir entre tots els parlants. El que s'observa, més aviat, és que hi ha alguns parlants en concret (sobretot el Parl.3, però també el Parl.5) que es distingeixen de la majoria dels altres per uns quants trets. És crucial també observar que, de les 45 combinacions possibles de parlants, n'hi ha 22 que no difereixen en cap paràmetre. En altres paraules, en un 50 % dels casos els paràmetres considerats no permeten de cap manera distingir entre parlants.

	Parl.1	Parl.2	Parl.3	Parl.4	Parl.5	Parl.6	Parl.7	Parl.8	Parl.9	Parl.10
Parl.1										
Parl.2	7									
Parl.3	7									
Parl.4		4,6	2,4,5,6,7							
Parl.5	9	9	6,7	5,9						
Parl.6			6,7		9					
Parl.7		9	2,4,5,6,7,8,9		1,5,9					
Parl.8			4,6,7,8	5	9		5,9			
Parl.9			9		1,9					
Parl.10		2,4	2,4,6,7		9		9			

Taula 9. Resum dels paràmetres acústics significatius de la fricativa alveolar sorda en posició explosiva en cada informant en parla espontània. 1. Durada; 2. *Zero crossings* als primers 30 ms; 3. *Zero crossings* a l'interval sencer; 4. *Zero crossings* normalitzat; 5. Freqüència de màxima intensitat; 6. Centre de gravetat; 7. Asimetria; 8. Curtosi i 9. Desviació estàndard.

	Parl.1	Parl.2	Parl.3	Parl.4	Parl.5	Parl.6	Parl.7	Parl.8	Parl.9	Parl.10
Parl.1										
Parl.2										
Parl.3	7,8	8								
Parl.4			2,4,6,7,8,9							
Parl.5		6	2,4,6,7,8	9						
Parl.6			4,6,7,8,9		9					
Parl.7	9		2,6,7,8,9		9					
Parl.8			2,4,6,7,8		9					
Parl.9			7,8,9		9					
Parl.10	2,4,6	2,4,6	2,4,6,7,8,9		5,9	2,4	4,6	2,4,5	2,4,6	

Taula 10. Resum dels paràmetres acústics significatius de la fricativa alveolar sorda en posició implosiva en cada informant en parla espontània. 1. Durada; 2. *Zero crossings* als primers 30 ms; 3. *Zero crossings* a l'interval sencer; 4. *Zero crossings* normalitzat; 5. Freqüència de màxima intensitat; 6. Centre de gravetat; 7. Asimetria; 8. Curtosi i 9. Desviació estàndard.

Si s'analitzen les dades de la fricativa [s] en posició implosiva (Taula 10), la situació és semblant. Aquí també es nota que no hi ha cap paràmetre que permeti distingir de manera constant entre parlants. Tot i això, hi ha alguns informants que es diferencien de tots

els altres (o de la gran majoria dels altres) per tot un conjunt de paràmetres: són, un cop més, els informants Parl.3 i Parl.5, als quals s'hi afegeix l'informant Parl.10. Un cop més, és crucial observar que, de les 45 combinacions possibles de parlants, n'hi ha 22 que no difereixen en cap paràmetre. En altres paraules, tal com s'ha observat per a [s] en posició explosiva, en un 50 % dels casos els paràmetres acústics considerats no permeten de cap manera distingir entre parlants.

Un pas més en la direcció de comprovar si (i fins a quin punt) els paràmetres acústics de la fricativa [s] permeten distingir entre informants és dur a terme una anàlisi discriminant. Per seleccionar els factors que s'inclouen a l'anàlisi (i que, per qüestions d'eficiència del model, han de ser poc nombrosos), és oportú fixar-se en la freqüència amb què apareixen a les taules 9 i 10. Per a [s] en posició explosiva, considerem prudent seleccionar només els factors que semblen tenir un potencial més gran, és a dir, els que apareixen almenys 7 vegades (desviació estàndard, asimetria i centre de gravetat). Per a [s] en posició implosiva, els factors que compleixen amb el mateix requisit són els mateixos tres i, a més, s'hi afegeixen la curtosí i el *zero crossings* normalitzat.

Els resultats de l'anàlisi discriminant per a [s] en posició explosiva no són encoratjadors, ja que els tres paràmetres esmentats només permeten classificar correctament el 32,4 % dels casos, la qual cosa no és sorprenent si es considera que, a la Taula 9, en un 50 % dels casos els paràmetres acústics no permeten de cap manera distingir entre les realitzacions de l'explosiva [s] de diferents parlants.

Per a [s] en posició implosiva els resultats de l'anàlisi discriminant són semblants, ja que els cinc factors que considerem permeten classificar correctament només un 33,4 % dels casos, la qual cosa —un cop més— és coherent amb el fet que a la Taula 10 en un 50 % dels casos els paràmetres acústics clàssics no permeten de cap manera distingir entre les realitzacions de la [s] implosiva de diferents parlants.

Fins i tot considerant un sistema amb tots els factors (que són 9), no s'observa cap millora considerable, ja que el percentatge de classificacions correctes passa al 43,8 % per a [s] explosiva i al 37,6 % per a [s] implosiva.

4.5. DISCUSSIÓ PARCIAL DELS RESULTATS DELS PARÀMETRES ACÚSTICS CLÀSSICS

Els resultats que s'han presentat fins ara es poden resumir de la manera següent: 1) la variació intraparlant dels paràmetres acústics de la fricativa [s] és baixa (la qual cosa els fa aptes per a l'ús amb finalitats judicials); 2) la variació interparlant dels mateixos paràmetres no és suficientment alta (la qual cosa els resta importància a la seva aplicabilitat en un marc forense); 3) els paràmetres en qüestió són sensibles al canvi d'estil de parla (per tant, en un marc judicial, s'ha d'evitar comparar mostres de registres diferents). Tot i això, es nota que els paràmetres acústics d'[s] permeten distingir molt clarament alguns parlants concrets de tots els altres (v. Taules 9 i 10). Per tant, poden ser útils en casos concrets.

4.6. ANÀLISI DE L'LTAS

Per comprovar si l'LTAS resulta ser un paràmetre més útil que els que s'han discutit als apartats anteriors, s'ha dut a terme una prova que tenia la finalitat de verificar-ne l'estabilitat intraparlant. Amb aquest fi, per a cada informant s'han creat dos arxius de so: el primer conté només les [s] en posició explosiva, i el segon, les [s] en posició implosiva. A continuació, s'ha dividit per la meitat cada arxiu, de manera que es pogués disposar de dues mostres homogènies per a cada parlant en cada posició. Amb un script de Praat (Elvira-García *et al.* 2014) s'ha extret l'LTAS de cada mostra i s'han calculat les distàncies entre aquestes. Les matrius de distàncies que s'han generat d'aquesta manera (Figures 1 i 2) es poden representar gràficament de forma més aprehensible mitjançant la tècnica MDS, que proporciona les Figures 3 i 4 (vegeu pàgina 109-110).

A les figures 3 i 4 es pot observar com cada informant tendeix a quedar més a la vora de si mateix que dels altres (per exemple, a la figura 3 es pot veure com les dues gravacions de l'informant K, indicades amb K1 i K2 en la part alta a mà esquerra, queden a prop l'una de l'altra, o que la mateixa cosa passa amb les dues gravacions de l'informant C, indicades amb C1 i C2, a la part baixa a mà dreta del gràfic). Això és més evident en po-

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	L1	L3	F1	F2	G1	G2	H1	H2	J1	J2	K1
A1	0	3,79	3,89	4,20	5,30	4,90	6,63	5,90	5,57	5,19	5,23	5,65	5,53	6,32	4,01	4,01	4,50	4,63	8,68
A2	3,79	0,00	3,13	3,90	4,84	5,51	6,01	4,76	7,00	6,77	4,20	5,04	4,76	5,56	3,85	3,64	3,57	3,29	6,63
B1	3,89	3,13	0,00	3,33	4,22	4,62	5,64	4,74	6,44	6,05	4,75	5,15	4,85	5,32	2,96	2,86	3,21	3,42	7,29
B2	4,20	3,90	3,33	0,00	4,18	4,11	6,66	4,50	6,16	5,54	4,81	4,73	4,24	4,77	3,34	3,29	4,52	4,03	7,92
C1	5,30	4,84	4,22	4,18	0,00	3,62	7,74	6,81	6,34	6,26	6,71	6,97	5,88	6,65	3,61	3,93	5,05	4,84	9,40
C2	4,90	5,51	4,62	4,11	3,62	0,00	8,19	7,21	4,92	5,47	7,33	7,33	6,17	6,91	4,04	4,46	5,76	5,35	10,63
D1	6,63	6,01	5,64	6,66	7,74	8,19	0,00	4,65	9,97	9,49	4,84	5,07	4,63	4,52	7,04	6,86	3,94	4,68	5,84
D2	5,90	4,76	4,74	4,50	6,81	7,21	4,65	0,00	8,97	8,12	3,89	3,21	3,79	3,70	5,64	5,29	4,25	4,08	5,42
E1	5,57	7,00	6,44	6,16	6,34	4,92	9,97	8,97	0,00	3,72	8,78	8,71	8,22	8,99	5,34	5,86	7,74	7,81	12,11
E3	5,19	6,77	6,05	5,54	6,26	5,47	9,49	8,12	3,72	0,00	8,29	7,71	8,16	8,68	4,71	5,08	7,37	7,61	11,32
F1	5,23	4,20	4,75	4,81	6,71	7,33	4,84	3,89	8,78	8,29	0,00	3,70	4,14	4,42	6,02	5,64	3,91	4,06	5,05
F2	5,65	5,04	5,15	4,73	6,97	7,33	5,07	3,21	8,71	7,71	3,70	0,00	4,26	4,37	5,90	5,62	4,76	4,73	5,77
G1	5,53	4,76	4,85	4,24	5,88	6,17	4,63	3,79	8,22	8,16	4,14	4,26	0,00	1,99	5,50	5,54	4,15	3,68	6,56
G2	6,32	5,56	5,32	4,77	6,65	6,91	4,52	3,70	8,99	8,68	4,42	4,37	1,99	0,00	6,07	6,02	4,71	4,23	6,51
H1	4,01	3,85	2,96	3,34	3,61	4,04	7,04	5,64	5,34	4,71	6,02	5,90	5,50	6,07	0,00	1,33	4,37	4,36	8,79
H2	4,01	3,64	2,86	3,29	3,93	4,46	6,86	5,29	5,86	5,08	5,64	5,62	5,54	6,02	1,33	0,00	4,18	4,15	8,34
J1	4,50	3,57	3,21	4,52	5,05	5,76	3,94	4,25	7,74	7,37	3,91	4,76	4,15	4,71	4,37	4,18	0,00	2,27	6,40
J2	4,63	3,29	3,42	4,03	4,84	5,35	4,68	4,08	7,81	7,61	4,06	4,73	3,68	4,23	4,36	4,15	2,27	0,00	6,45
K1	8,68	6,63	7,29	7,92	9,40	10,63	5,84	5,42	12,11	11,32	5,05	5,77	6,56	6,51	8,79	8,34	6,40	6,45	0,00
K2	7,50	5,55	5,82	6,20	7,85	9,11	5,32	4,03	10,79	9,82	4,22	4,54	5,51	5,38	7,13	6,68	5,29	5,22	2,60

Figura 1. Matriu de distància de dades obtingudes de l'LTAS per a [s] explosiva en parla espontània.

sició explosiva (figura 3) que en posició implosiva (figura 4). Finalment, és important destacar que en ambdós casos els valors d'*stress* i de RSQ indiquen que la representació gràfica del MDS és bona.

De cara a les aplicacions forenses d'aquest tipus d'anàlisi, és important subratllar que de les dades obtingudes es desprèn que un valor de 3,90 a la figura 1 marcaria, en general, el límit que permet hipotetitzar que dues gravacions provinguin d'un mateix parlant. Per sota d'aquest valor les dades tendrien a correspondre a un mateix informant, mentre que un valor superior indicaria tendència a pertànyer a individus diferents. L'única excepció a la figura 3 seria l'informant D.

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	L1	L3	F1	F2	G1	G2	H1	H2	J1	J2	K1
A1	0,00	2,98	2,96	3,19	4,52	3,53	5,19	6,68	6,09	5,46	4,83	6,71	5,33	4,85	3,16	2,70	4,49	5,26	9,91
A2	2,98	0,00	3,81	3,87	4,83	4,28	6,21	6,88	6,87	6,02	4,19	6,30	5,73	5,19	3,71	3,41	5,23	5,92	9,47
B1	2,96	3,81	0,00	2,83	30,9	3,00	5,10	6,71	5,27	4,41	4,34	6,93	5,36	4,99	2,30	2,93	5,17	5,89	10,84
B2	3,19	3,87	2,83	0,00	3,59	3,34	4,13	5,15	6,38	5,79	4,06	5,48	3,73	3,53	3,28	3,04	3,49	4,00	8,91
C1	4,52	4,83	30,9	3,59	0,00	3,17	5,45	6,37	6,59	5,40	4,18	6,79	5,30	5,32	3,71	4,10	5,62	6,26	11,02
C2	3,53	4,28	3,00	3,34	3,17	0,00	4,94	6,48	6,07	5,37	4,94	6,98	5,37	5,28	3,23	3,20	4,63	5,48	10,80
D1	5,19	6,21	5,10	4,13	5,45	4,94	0,00	4,73	7,40	7,33	6,04	6,02	4,06	4,08	5,21	5,30	4,23	4,54	9,22
D2	6,68	6,88	6,71	5,15	6,37	6,48	4,73	0,00	9,14	8,78	5,61	3,43	4,12	4,03	6,60	6,12	4,56	4,29	6,42
E1	6,09	6,87	5,27	6,38	6,59	6,07	7,40	9,14	0,00	2,78	6,99	8,99	8,46	7,89	4,97	5,66	8,36	8,45	13,14
E3	5,46	6,02	4,41	5,79	5,40	5,37	7,33	8,78	2,78	0,00	5,81	8,47	8,00	7,51	4,19	4,92	7,98	8,27	12,88
F1	4,83	4,19	4,34	4,06	4,18	4,94	6,04	5,61	6,99	5,81	0,00	4,55	5,17	4,70	4,10	4,33	5,74	5,89	9,01
F2	6,71	6,30	6,93	5,48	6,79	6,98	6,02	3,43	8,99	8,47	4,55	0,00	5,21	4,53	6,59	6,04	5,10	4,49	5,94
G1	5,33	5,73	5,36	3,73	5,30	5,37	4,06	4,12	8,46	8,00	5,17	5,21	0,00	2,11	5,34	5,09	4,13	4,39	7,97
G2	4,85	5,19	4,99	3,53	5,32	5,28	4,08	4,03	7,89	7,51	4,70	4,53	2,11	0,00	4,95	4,70	3,78	3,97	7,68
H1	3,16	3,71	2,30	3,28	3,71	3,23	5,21	6,60	4,97	4,19	4,10	6,59	5,34	4,95	0,00	2,07	5,23	5,74	10,62
H2	2,70	3,41	2,93	3,04	4,10	3,20	5,30	6,12	5,66	4,92	4,33	6,04	5,09	4,70	2,07	0,00	4,28	4,91	9,74
J1	4,49	5,23	5,17	3,49	5,62	4,63	4,23	4,56	8,36	7,98	5,74	5,10	4,13	3,78	5,23	4,28	0,00	2,32	7,53
J2	5,26	5,92	5,89	4,00	6,26	5,48	4,54	4,29	8,45	8,27	5,89	4,49	4,39	3,97	5,74	4,91	2,32	0,00	6,90
K1	9,91	9,47	10,84	8,91	11,02	10,80	9,22	6,42	13,14	12,88	9,01	5,94	7,97	7,68	10,62	9,74	7,53	6,90	0,00
K2	7,74	7,35	8,53	6,75	8,72	8,60	7,33	4,68	11,12	10,65	6,76	4,05	6,28	5,83	8,37	7,51	5,54	5,14	3,30

Figura 2. Matriu de distància de dades obtingudes de l'LTAS per a [s] implosiva en parla espontània.

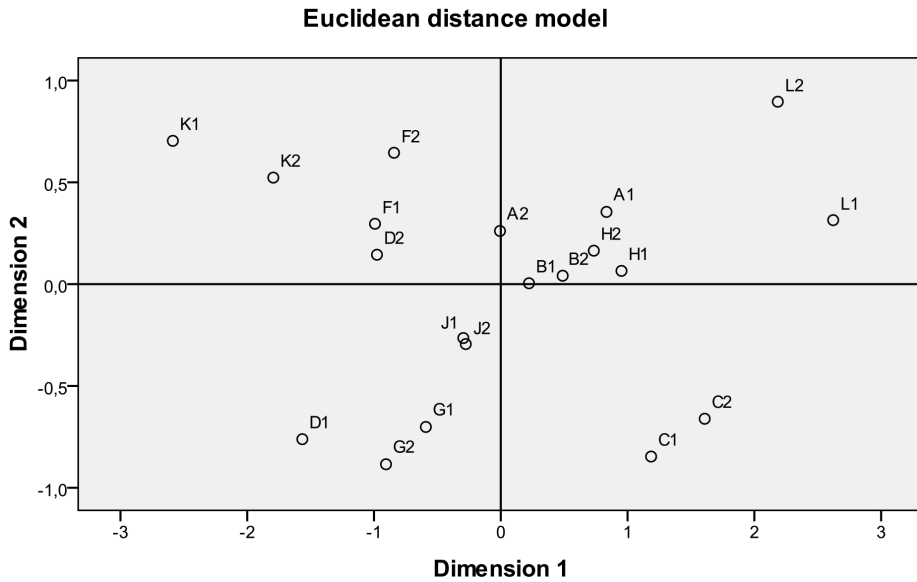


Figura 3. Diagrama d'escalament multidimensional de la mitjana de dades obtingudes de l'LTAS per a [s] explosiva en parla espontània (*Stress* 0,08936 i *RSQ* 0,96815).

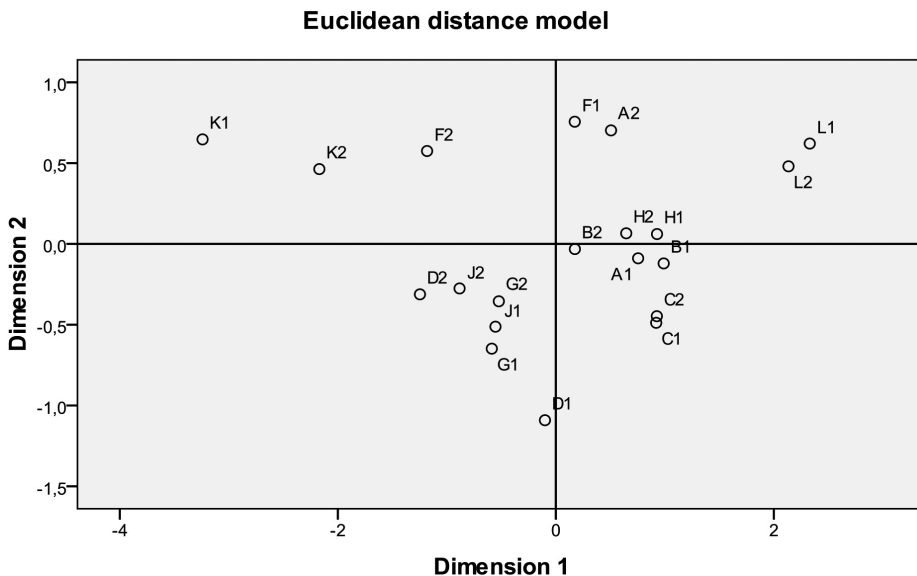


Figura 4. Diagrama d'escalament multidimensional de la mitjana de dades obtingudes de l'LTAS per a [s] implosiva en parla espontània (*Stress* 0,09038 i *RSQ* 0,97089).

4.7. DISCUSSIÓ PARCIAL DELS RESULTATS DE L'LTAS

Si l'LTAS fos un paràmetre fiable en la comparació de veus, ens esperariem que la distància entre els LTAS de dues gravacions de la mateixa persona fos inferior a la distància entre l'LTAS d'una gravació de la persona en qüestió i de la gravació de qualsevol altra persona. Aquesta hipòtesi s'acompleix per a 7 informants de 10 (és a dir, en el 70 % dels subjectes) per a la fricativa [s] explosiva, i per a 5 informants de 10 (és a dir, en el 50 % dels subjectes) per a la fricativa [s] implosiva. Aquests resultats semblen una mica millors quant a predicció que els que s'han presentat prèviament per als altres paràmetres acústics més clàssics. Per això sembla possible concloure que l'anàlisi de les distàncies entre els LTAS és una tècnica també útil i una mica més fiable en l'anàlisi del segment [s] amb finalitats judicials.

5. CONCLUSIONS

A la vista dels resultats obtinguts sembla que podem concloure els següents punts pel que fa a l'ús de l'anàlisi de la fricativa alveolar amb finalitats foneticoforenses: 1) no és prudent comparar diferents estils de parla; atès que les veus dubitades mostraran un estil espontani, no serà bo comparar-les amb veus indubitades en un estil més formal; 2) els paràmetres acústics clàssics, tot i presentar una variació intraparlant baixa, per si sols no sembla que presentin prou robustesa en la identificació del parlant ja que queda limitada al 50 %, aproximadament, en les comparacions interparlants; 3) l'LTAS, tot i no ser prou definitiu com per ser un paràmetre clau en la identificació de parlants, sembla més útil que els paràmetres acústics clàssics; i 4) l'anàlisi conjunta de tots els paràmetres màximament robusts, els clàssics i l'LTAS, pot ajudar en el procés d'identificació de parlants. En altres paraules, la consideració en conjunt de tots els paràmetres analitzats en la fricativa alveolar pot constituir un element important en les tasques de fonètica forense destinades a la verificació i a la identificació del locutor.

D'aquesta manera constatem, com ja es va fer a Roseano *et al.* (2015), que la tècnica de l'LTAS pot proporcionar al pèrit elements valuosos per a la comparació de veus en la mesura en què pot contribuir a conformar el judici del professional. Tot i això, constatem també que no és una eina màximament robusta. Es demostra en aquest treball que ajuda de manera més eficaç el pèrit en combinació amb els paràmetres acústics que contenen les fricatives alveolars.

Calen més estudis amb LTAS combinats amb anàlisis descriptives d'altres segments de la veu per anar trobant elements rellevants en el terreny de la identificació i la verificació de parlants que podrien ser integrats i destacats qualitativament en sistemes biomètrics (Poddar *et al.* 2018) que incloguin aspectes de veu.

6. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- ARCE, Constantino (1993): *Escalamiento multidimensional. Una técnica multivariante para el análisis de datos de proximidad y preferencia*. Barcelona: PPU.
- BOERSMA, Paul / WEENINK, David (2015): *Praat: doing phonetics by compute. Version 5.4.08*. [S.l.]: <<http://www.praat.org/>>. [Consulta: març de 2015.]
- BOLLE, Ruud M. / CONNELL, Jonatham H. / PANKANTI, Sharath / RATHA, Nalini K. / SENIOR, Andrew. W. (2004): *Guide to Biometrics*. New York: Springer
- BORG, Ingwer / GROENEN, Patrick (2005): *Modern Multidimensional Scaling* (2a ed.). New York: Springer.
- BORZONE DE MANRIQUE, Ana María / MASSONE, María Ignacia (1981): «Acoustic analysis and perception of the Spanish fricative consonants», *Journal of the Acoustical Society of America*, 69, p. 1145- 1153.
- CICRES, Jordi (2011): «Los sonidos fricativos sordos y sus implicaciones forenses», *Estudios Filológicos*, 48, p. 33-48.
- ELVIRA-GARCÍA, Wendy (2014): *Zero crossings and spectral moments. Praat script*. [S.l.]: <<http://stel.ub.edu/labfon/en>>.
- ELVIRA-GARCÍA, Wendy / ROSEANO, Paolo / FERNÁNDEZ PLANAS, Ana María (2014): *LTAS differences. Praat script*. [S.l.]: <<http://stel.ub.edu/labfon/en>>.
- FERNÁNDEZ PONS, Xènia (2015): *Anàlisi de la variació en la fricativa alveolar /s/ del castellà amb finalitat forense*. TFG inèdit dirigit per Ana María Fernández Planas, UB.
- GIL, Juana (2014): «Más allá del ‘efecto CSI’: Avances y metas en fonética judicial», dins CONGOSTO MARTÍN, Yolanda / MONTERO CURIEL, María Luisa / SALVADOR PLANS, Antonio (ed.): *Fonética experimental, Educación Superior e Investigación*, vol. 1, p. 63-112.
- GOLD, Erica (2011): «Forensic speaker comparison evidence: The international Picture», comunicació presentada en el Congrés de la *International Association for Forensic Phonetics and Acoustics 2011*. Viena, Austria. <www.International Association for Forensic Phonetics and Acoustics.net>. [Consulta: abril 2017.]
- GOLD, Erica / FRENCH, Peter (2011): «International practices in forensic speaker comparison», *International Journal of Speech, Language and the Law*, 18 (2).
- GORDEEVA, Olga B. / SCOBIE, James M. (2010): «Preaspiration as a correlate of word-final voice in Scottish English fricatives», dins FUCHS, Susanne / TODA, Martine / ŽYGIS, Marzena (ed.): *Turbulent Sounds. An Interdisciplinary guide*. Berlín / Nova York: De Gruyter Mouton, p. 167-207.
- HIRSON, Allen / DUCKWORTH, McKenzie (1993): «Glottal fry and voice disguise: a case study in forensic phonetics», *Biomedical Engineering*, 15, p. 193-200.
- HOLLIEN, Harry / MAJEWSKI, Wojciech (1977): «Speaker identification by long-term spectra under normal and distorted speech conditions», *Journal of the Acoustical Society of America*, 62 (4), p. 975-980.
- 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).
- KREIMAN, Jody / SIDTIS, Diana (2011): *Foundations of Voice Studies*. Chichester: Wiley-Blackwell.

- LINDBLOM, Björn (1990): «Explaining phonetic variation: A sketch of the H & H theory», dins *HARDCASTLE, William J. / MARCHAL, Alain (ed.): Speech Production and Speech Modelling*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 403-439.
- MAGRIN-CHAGNOLLEAU, Ivan / BONASTRE, Jean-François / BIMBOT, Frédéric (1995): «Effect of utterance duration and phonetic content on speaker identification using second-order statistical methods», *Eurospeech '95*, p. 337-340.
- MALTONI, Davide / MAIO, Dario / JAIN, Anil K. / PRABHAKAR, Sail (2003): *Handbook of Fingerprint Recognition*. Nova York: Springer.
- MARTÍNEZ CELDRÁN, Eugenio / FERNÁNDEZ PLANAS, Ana María (2013): *Manual de fonética española. Articulaciones y sonidos del español* (2a ed.). Barcelona: Ariel.
- MOLINA DE FIGUEIREDO, Ricardo / BERNALES LILLO, Mario (1999): «Reconocimiento de hablantes basado en el espectro a largo tiempo», dins *Centro de Lingüística Aplicada (ed), Actas del VI Simposio Internacional de Comunicación Social*. Santiago de Cuba: Centro de Lingüística Aplicada, p. 1372-1378.
- NOLAN, Francis J. (1983): *The Phonetic Bases of Speaker Recognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- NORDENBERG, Maria / SUNDBERG, Johan (2003): «Effect on LTAS of vocal loudness variation», *TMH Quarterly Progress Status Report*, 45(1).
- PITTAM, Jeff. (1987): «The long term spectral measurement of voice quality as a social and personality marker: A review», *Language and Speech*, 30.
- PODDAR, Arnab / SAHIDULLAH, Md / SAHA, Goutam (2018): «Speaker Verification with Short Utterances: A Review of Challenges, Trends and Opportunities». *IET Biometrics*, 7(2), p. 91-101.
- PRUZANSKY, Sandra (1963): «Pattern-matching procedure for the automatic talker recognition», *Journal of the Acoustical Society of America*, 35.
- ROSE, Phil (2002): *Forensic speaker identification* (1a ed.). Londres: Taylor & Francis.
- ROSEANO, Paolo / FERNÁNDEZ PLANAS, Ana Maria / ELVIRA-GARCÍA, Wendy / MARTÍNEZ CELDRÁN, Eugenio (2015): «Comparació automàtica de veus amb finalitats judicials a partir de l'espectre mitjà a llarg termini. El cas dels parlants bilingües», *Llengua i Dret*, 63, p. 63-76.
- UNIVASO, Pedro / MARTÍNEZ, Miguel / GURLEKIAN, Jorge A. (2014): «Variabilidad intra- e inter- hablante de la fricativa sibilante /s/ en el español de Argentina», *Estudios de Fonética Experimental*, 23, p. 95-124.
- ZALEWSKI, Janusz / MAJEWSKI, Wojciech / HOLLIEN, Harry (1975): «Cross-correlation between Long-Term Speech Spectra as a criterion for speaker identification», *Acoustics*, 34.

RESUM

Aquest estudi presenta els resultats d'una anàlisi de la variació intraparlant i interparlant de la fricativa alveolar del castellà amb una finalitat forense. Es pretén caracteritzar aquest element minuciosament pensant en la seva utilitat com un element important en les tasques fonètiques forenses d'identificació o verificació del locutor. Per dur a terme aquesta anàlisi s'han emprat dos mètodes de comparació a partir de diferents paràmetres acústics. D'una banda, s'han analitzat diversos paràmetres considerats tradicionalment en l'estudi de les fricatives (la durada, els *zero crossings*, la freqüència de màxima intensitat, el centre de gravetat, l'asimetria, la curtosi i la desviació estàndard). I, d'altra banda, l'atenció s'ha centrat en l'LTAS (en anglès *Long Term Average Spectrum*) d'aquest segment.

PARAULES CLAU: fonètica forense, fricativa alveolar, LTAS, ANOVA.

ABSTRACT

An analysis of intraspeaker and interspeaker variation in the Castilian alveolar fricative [s] for forensic purposes

This paper presents the results of an analysis of intraspeaker and interspeaker variation in the Castilian alveolar fricative [s] for forensic purposes. The aim is to achieve a highly detailed characterization of this sound by considering its importance in forensic phonetic analyses aiming at identifying or verifying a speaker. In order to carry out the analysis, we used two methods of comparison based on different acoustic parameters. On one hand, we analysed various parameters traditionally taken into account when studying fricatives, namely duration, zero crossings, frequency peaks, centre of gravity, skewness, kurtosis, and standard deviation. On the other hand, we also focussed on the LTAS (Long Term Average Spectrum) of the segment.

KEY WORDS: forensic phonetics, alveolar fricative, LTAS, ANOVA.