

COMPARACIÓ AUTOMÀTICA DE VEUS AMB FINALITATS JUDICIALS A PARTIR DE L'ESPECTRE MITJÀ A LLARG TERMINI: EL CAS DELS PARLANTS BILINGÜES

Paolo Roseano, Ana Ma. Fernández Planas, Wendy Elvira-García i Eugenio Martínez Celdrán*

Resum

En aquest article presentem un mètode de comparació automàtica de veus a partir de l'anàlisi del paràmetre acústic de l'espectre mitjà a llarg termini (conegut com a LTAS, de l'anglès *Long Term Average Spectrum*) a partir de dades de parlants bilingües. Els resultats de les proves de laboratori indiquen que aquesta tècnica té una utilitat judicial ja que pot proporcionar al pèrit elements valuosos per a la comparació de veus.

Paraules clau: fonètica judicial; comparació automàtica de veus; LTAS; bilingüisme.

Abstract

AUTOMATIC VOICE COMPARISON FOR LEGAL ENDS BASED ON THE LONG TERM AVERAGE SPECTRUM: THE CASE OF BILINGUAL SPEAKERS

In this article we present a method for automatic voice comparison based on the analysis of the acoustic parameter of the Long Term Average Spectrum (LTAS), using data from bilingual speakers. The results from lab tests indicate that this technique can be useful in the legal domain, since it can provide the expert witness with valuable elements for voice comparison.

Key words: forensic phonetics; automatic voice comparison; LTAS; bilingualism

* Paolo Roseano, investigador del Laboratori de Fonètica de la Universitat de Barcelona, paolo.roseano@ub.edu

Ana Ma. Fernández Planas, responsable tècnica del Laboratori de Fonètica de la Universitat de Barcelona, anamariafernandez@ub.edu

Wendy Elvira-García, investigadora del Laboratori de Fonètica de la Universitat de Barcelona, wendyelvira@ub.edu

Eugenio Martínez Celdrán, director del Laboratori de Fonètica de la Universitat de Barcelona, martinezceldran@ub.edu

Article rebut el 28.11.2014. Avaluació cega: 09.02.2015. Data d'acceptació de la versió final: 19.03.2015

Citació recomanada: ROSEANO, Paolo, *et al.* «Comparació automàtica de veus amb finalitats judicials a partir de l'espectre mitjà a llarg termini: el cas dels parlants bilingües », *Revista de Llengua i Dret*, núm. 63, 2015, p. 63-76, DOI: [10.2436/20.8030.02.93](https://doi.org/10.2436/20.8030.02.93)

Sumari

1 Introducció

2 Objectius

3 Metodologia

3.1 Corpus

3.2 Script

3.2.1 Càlcul de l'LTAS

3.2.2 Càlcul de les distàncies entre LTAS

4 Presentació dels resultats

4.1 Variació intralocutor en un corpus monolingüe

4.2 Efecte del canvi de llengua

5 Conclusions

6 Bibliografia

Agraïments

Apèndix 1

Apèndix 2

1 Introducció

La identitat d'un parlant és, cada vegada més sovint, un tema central en els casos judicials. La situació més comuna és aquella en la qual el jutjat disposa de dues gravacions: la gravació d'un criminal, la identitat del qual és desconeguda o en disputa, i la gravació de la veu d'un sospitós. En aquest marc, la figura del pèrit –en aquest cas el fonetista– té un paper clau a l'hora de proporcionar al jutjat, a petició de la fiscalia, de l'acusació particular o de la defensa, elements per prendre una decisió sobre la identitat de les veus comparades. El fonetista, per tant, és l'expert que posa els òrgans del poder judicial en condició de valorar si, i fins a quin punt, és possible que la veu del sospitós (l'anomenada gravació indubitada) i la veu de la persona de la qual no es coneix amb seguretat la identitat (l'anomenada gravació dubitada) provenguin de la mateixa persona. Per tal de complir amb el seu paper i facilitar una resposta fiable, el fonetista es basa en el seu coneixement científic de la llengua i en tècniques d'anàlisi adequades de paràmetres acústics objectius.

Al llarg de les últimes dècades s'ha anat definint un conjunt de paràmetres acústics que es consideren aptes per ser utilitzats en la comparació de veus amb finalitats judicials. Tal com destaquen diferents estudis (Gil, 2014; Gold i French, 2011; Rose, 2002; Nolan, 2001), cap d'aquest paràmetres per si sol és suficient per obtenir un resultat fiable. En altres paraules, qualsevol peritatge en l'àmbit de la fonètica forense o judicial no pot fonamentar-se en l'estudi d'un sol paràmetre acústic, sinó que n'ha de considerar tot un conjunt. Els paràmetres que se solen considerar aptes per ser utilitzats amb finalitats judicials han de tenir, idealment, una variació intralocutor baixa (és a dir, que s'han de mantenir estables a totes les mostres de parla d'un locutor) i una variació interlocutor alta (és a dir, que han de ser molt diferents entre les mostres de parla de locutors diferents). Entre els paràmetres que s'han pres en consideració hi ha l'espectre mitjà a llarg termini (o LTAS), que és una representació de l'espectre mitjà de l'amplitud en una gamma de freqüències donada calculat per a un interval de temps.¹

Des dels primers intents d'utilitzar l'LTAS per al reconeixement automàtic del locutor (Pruzansky 1963), s'ha obert un filó d'investigació que té com a finalitat valorar la fiabilitat d'aquesta tècnica en la comparació de veus (Zalewski *et al.*, 1975; Pittam, 1987; Nolan, 1983; Molina de Figueiredo i Bernales Lillo, 1999; Cicres, 2011; i.a.). Un dels aspectes que han rebut certa atenció és el de l'efectivitat d'aquesta tècnica en la comparació de mostres de veu del mateix locutor que difereixen entre si pel que fa a variacions degudes a ajustaments fonatoris o a efectes del canal de transmissió (Klingholz *et al.*, 1988; Nordenberg i Sundberg, 2003; i.a.). Una atenció menor s'ha dedicat a l'aplicabilitat de l'LTAS en els casos on les mostres de veu dubitada i indubitada són de llengües diferents (a causa, per exemple, del fet que un sospitós poc col·laboratiu es negui a gravar en la mateixa llengua de la mostra dubitada).

Els treballs que se centren en l'aplicabilitat de l'LTAS en la comparació de mostres de veu produïdes en llengües diferents per parlants bilingües, a més de ser escassos, no coincideixen en les seves conclusions. Mentre que Harmegnies *et al.* (1991), per exemple, conclouen que les característiques de cada llengua no influeixen sobre l'LTAS, estudis com els de Bruyninckx *et al.* (1994) i Manwa *et al.* (2012) advoquen que la llengua parlada té efectes sobre els LTAS. Cal destacar també que cap d'aquests treballs està enfocat a la fonètica judicial.

2 Objectius

Aquest treball té dos objectius, dels quals un és de tipus teòric i l'altre té una caracterització més aviat aplicada. Des d'una perspectiva teòrica, es pretén reprendre l'estudi dels efectes sobre l'LTAS del canvi de llengua per part dels mateixos parlants, línia d'investigació que en els últims 20 anys ha estat objecte d'una atenció marginal.

El segon objectiu, de caràcter metodològic i aplicat, consisteix a desenvolupar una proposta de rutina d'anàlisi semiautomàtica de l'LTAS amb finalitats judicials. La rutina en qüestió, preparada a l'entorn de

¹ Una manera de concebre l'LTAS en termes menys tècnics i més intuïtius és la següent. La veu humana està caracteritzada per una sèrie de paràmetres com la intensitat (el que s'anomena popularment també "volum") i la freqüència (fenomen que en termes no tècnics es descriu amb expressions com a "alçada d'un so" en el sentit de "so greu", "so agut", etc.). L'LTAS és un gràfic que proporciona informacions sobre el "volum" que té cada "nivell d'alçada d'una veu", és a dir, és una prova que relaciona aquests dos paràmetres.

Praat (Boersma i Weenink, 2013), permet mesurar les distàncies entre diferents mostres de parla basant-se en l'LTAS (Majewski i Hollien, 1974; Zalewski *et al.*, 1975). L'automatització de la comparació entre els LTAS de dues mostres de veu no té com a objectiu el de desautoritzar l'expert o de reduir la importància del seu paper, sinó el d'obviar alguns dels límits reconeguts dels mètodes més tradicionals de comparació de mostres de parla, és a dir la seva possible subjectivitat i el seu alt cost en termes de temps necessari (Künzel, 2011: 39). A més, és important subratllar com la literatura científica dels últims anys suggereix que la comparació automàtica de la parla podria representar un avantatge justament en els casos reals en què es disposi de dues mostres de parla en llengües diferents una de les quals sigui poc coneguda per l'expert (Künzel, 2011: 41-42).

3 Metodologia

3.1 Corpus

El corpus utilitzat per a aquest treball està integrat per les gravacions de 13 parlants bilingües d'italià regional de Friül i del dialecte friülà de la Baixa Vall de Gorto. Són 8 dones i 5 homes que llegeixen el text de *La tramuntana i el sol* en les dues llengües i, a més, una conjunt de frases fonèticament balancejades en italià.² L'edat mitjana dels informants és de 47 anys amb una desviació estàndard de 21. Els enregistraments es van efectuar en una sola sessió per a cada parlant, a casa seva, en una habitació silenciosa, mitjançant una gravadora digital Marantz model PMD620 que portava connectat un micròfon direccional Shure SM58. Els arxius de so es van gravar en format .wav mono amb una freqüència de mostreig de 44.100 Hz. Les gravacions del text *La tramuntana i el sol* en friülà tenen una durada mitjana de 42,2 s de parla útil (és a dir amb l'exclusió de silencis i parts amb soroll), amb una desviació estàndard de 3,6 s. Les gravacions del mateix text en italià tenen una durada mitjana de 41,3 s de parla útil, amb una desviació estàndard de 3,5 s. Finalment, les gravacions de les frases fonèticament balancejades en italià tenen una durada mitjana de 22,5 s de parla útil, amb una desviació estàndard de 1,9 s.

La decisió d'utilitzar veus masculines i femenines, així com la de treballar amb enregistraments d'alta qualitat de parla de laboratori realitzades en una sola sessió (totes condicions diferents de les que es donarien en un cas judicial real) responen a la necessitat de testar, en aquesta primera fase, el funcionament del mètode automàtic de comparació de veus 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 veus de parlants del mateix sexe i amb graus diferents d'alteració per efecte del canal de transmissió.

3.2 Script

La comparació entre els LTAS de les diferents mostres s'ha dut a terme mitjançant un script de Praat (Elvira-García *et al.*, 2014) que fa dues operacions: 1) calcula l'LTAS de cada mostra i, a continuació, 2) calcula les distàncies entre ells i les guarda en un document de text que pot ser gestionat mitjançant Excel.

3.2.1 Càlcul de l'LTAS

Les versions més recents de Praat permeten calcular, a més de l'LTAS tradicional, també el *pitch-corrected* LTAS, que és una versió més refinada de l'LTAS que intenta corregir els efectes de les variacions d'F0 (Boersma i Kovačić 2006) i que és la que s'ha utilitzat per a aquest treball. L'script que s'ha preparat calcula l'LTAS per a un rang freqüencial que arriba fins als 8000 Hz, dividits en passes de 100 Hz. Com a resultat, l'LTAS de cada mostra resulta ser una seqüència de 80 valors numèrics (Figura 1), ordenats segons la freqüència a la qual corresponen. Els 80 valors numèrics en qüestió es guarden en una base de dades des de la qual es recuperaran en la fase següent de l'anàlisi.

² Els materials es van gravar al desembre de 2013 en el marc d'un projecte d'investigació sobre les característiques rítmiques de llengües en contacte (friülà i italià) que el *Laboratori de Fonètica* de la *Universitat de Barcelona* està duent a terme en col·laboració amb la *Universität Hamburg*. Tots els informants han donat el seu consentiment al tractament de les dades personals d'acord amb les lleis vigents.

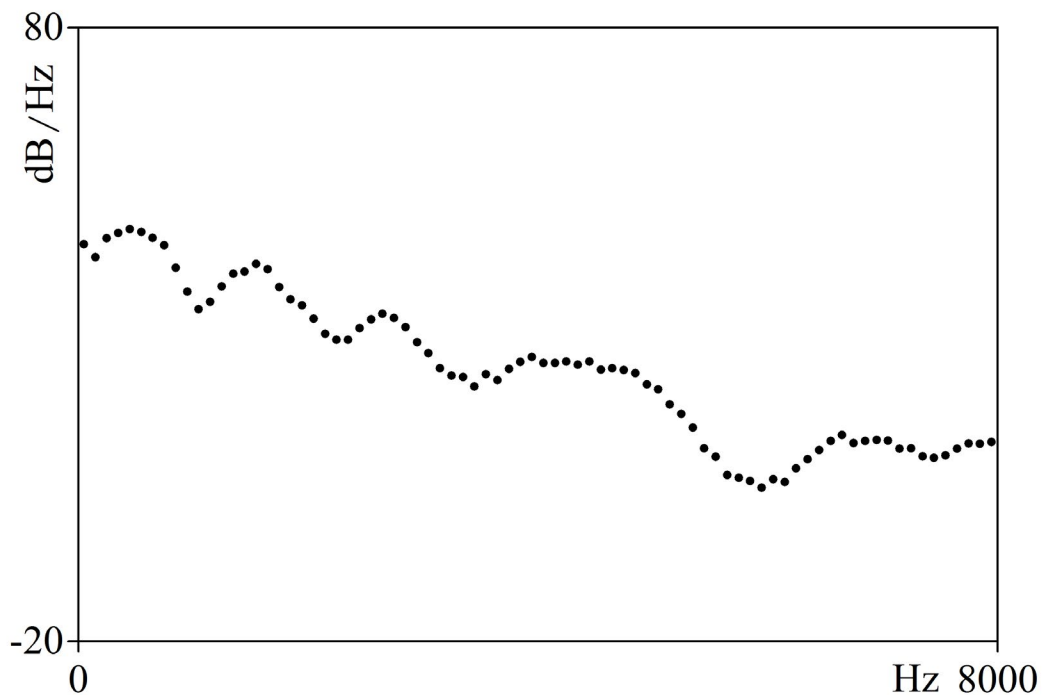


Figura 1 – LTAS d'un arxiu de so que conté la gravació del text *La tramuntana i el sol*

3.2.2 Càlcul de les distàncies entre LTAS

Una vegada determinat l'LTAS de totes les mostres que es volen comparar, el pas següent és el còmput de les diferències entre cadascuna d'elles i les altres. El càlcul de la diferència entre dues seqüències de 80 nombres, que anomenem $LTAS_1$ i $LTAS_2$, és una operació matemàtica senzilla. La diferència en qüestió, que anomenem Δ_{LTAS} , és la suma dels valors absoluts de les diferències entre cada parella de nombres que ocupen la mateixa posició en la seqüència dividida pel nombre d'observacions. En termes més formals:

$$LTAS_1 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \dots, x_{80}\}$$

$$LTAS_2 = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, \dots, y_{80}\}$$

$$\Delta_{LTAS} = \sum(|x_1 - y_1| + |x_2 - y_2| + |x_3 - y_3| + |x_4 - y_4| \dots + |x_{80} - y_{80}|) / 80$$

Com més gran és Δ_{LTAS} , més gran és la diferència entre els LTAS de les dues mostres. Si fos cert que, en parlants bilingües, el canvi de llengua no produeix cap efecte apreciable sobre l'LTAS (que podem considerar la nostra hipòtesi de treball), el Δ_{LTAS} entre les dues mostres del mateix subjecte parlant llengües diferents hauria de ser inferior al Δ_{LTAS} entre cadascuna d'aquestes mostres i qualsevol altra mostra de subjectes diferents.

No obstant això, abans de verificar aquesta hipòtesi a partir de les dades del nostre corpus, cal fer algunes correccions al model matemàtic –massa senzill– que s'acaba de presentar. Aquestes correccions són requerides per la naturalesa mateixa de l'LTAS. Recordem, de fet, que l'LTAS és funció, en primer lloc, de la intensitat del senyal en cada banda de freqüència. Això pot tenir conseqüències nefastes a l'hora de comparar els LTAS de dues mostres, com es demostra en l'exemple a continuació. Imaginem que s'enregistren dos subjectes (el parlant A i el parlant B) llegint el mateix text en català (*La tramuntana i el sol*). El parlant A s'ha gravat amb una gravadora connectada a un micròfon direccional posat a 30 cm de la seva boca. La mostra obtinguda es dirà α_{30} . El parlant B s'ha gravat amb dues gravadores idèntiques connectades a dos micròfons del mateix model, posats a 30 i a 70 cm de la seva boca. Les mostres obtingudes es diran β_{30} i β_{70} (figura 2).

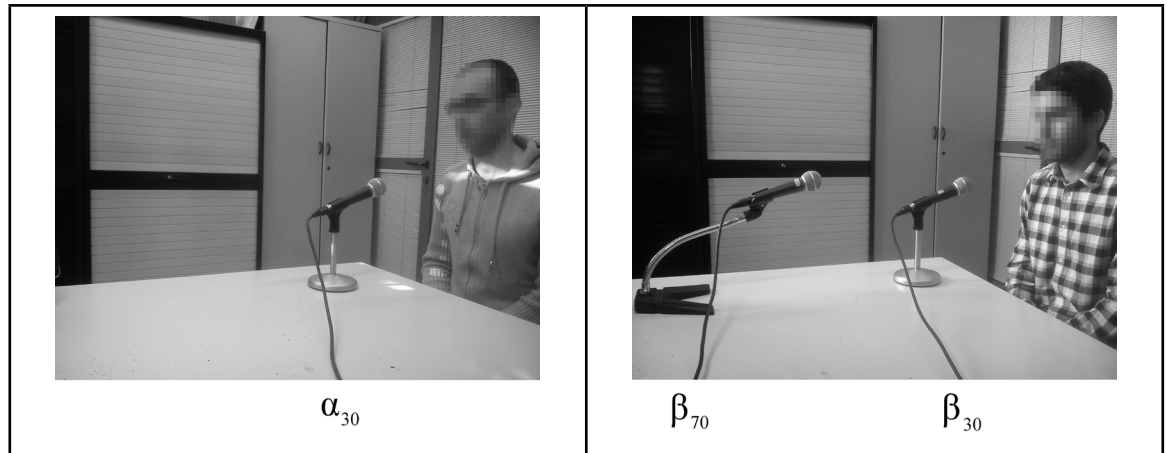


Figura 2 – Condicions d'enregistrament del parlant A (imatge de l'esquerra) i del parlant B (imatge de la dreta)

Els LTAS de les tres mostres, calculats amb el mètode exposat anteriorment, són les que es representen a la figura 3. Les dues línies discontinües representen la mostra β_{30} (línia de punts, la més alta de totes tres), la β_{70} (línia de ratlles, la més baixa) i la α_{30} (línia contínua).

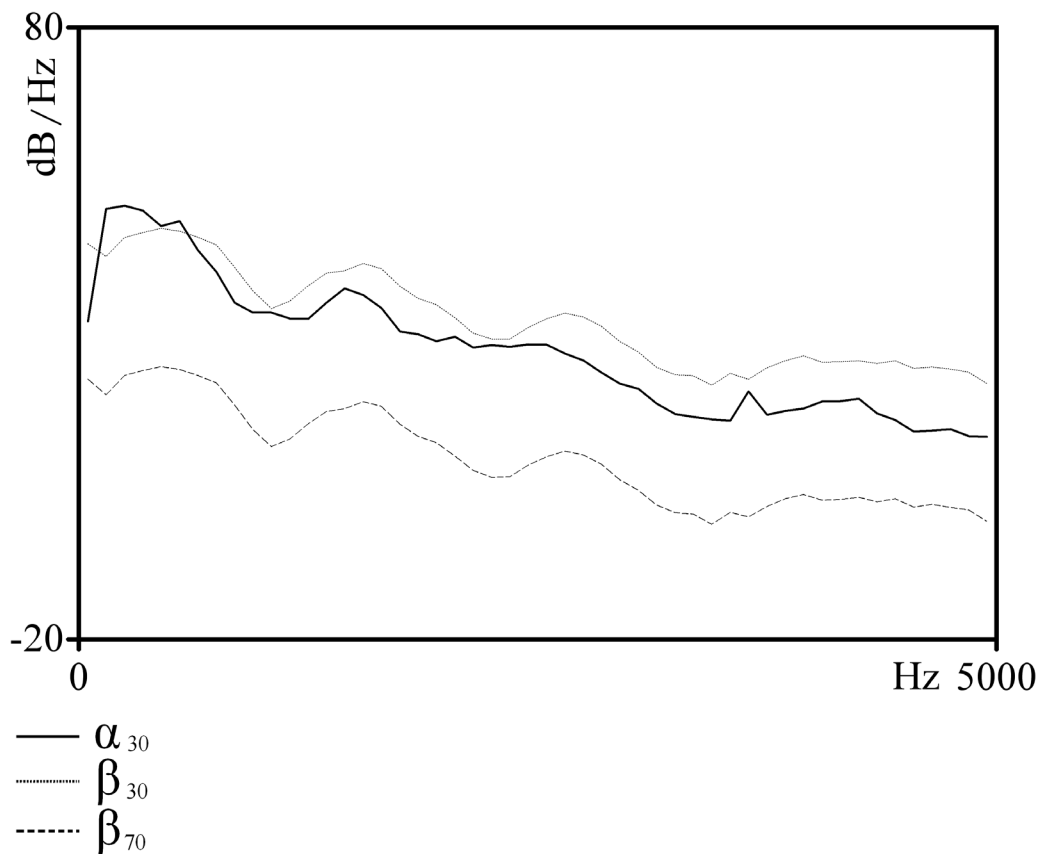


Figura 3 – LTAS de les mostres α_{30} , β_{30} i β_{70}

D'acord amb les fórmules per al càlcul de les distàncies que s'han presentat anteriorment, la diferència entre l'LTAS de β_{30} i α_{30} seria molt menor que la que hi ha entre els LTAS de β_{30} i β_{70} , tot i correspondre aquestes

dues gravacions a la mateixa emissió de veu. Per tant, a partir del resultat de la fórmula en qüestió, en un context judicial s'hauria de rebutjar la possibilitat d'afirmar que β_{30} i β_{70} fossin emissions realitzades pel mateix parlant, ja que són les més diferents del grup. Aquesta conclusió és contrària al que sabem que és cert (i l'ull d'un expert efectivament reconeix que els LTAS de β_{30} i β_{70} tenen el mateix perfil, tot i trobar-se a intensitats diferents). L'error deriva de la incapacitat de la fórmula esmentada per comparar eficaçment els perfils de dos LTAS que, tot i tenir un perfil idèntic, se situen a alçades diferents a causa de la major/menor intensitat de gravació de l'emissió.

La solució matemàtica que permet obviar errors tan evidents consisteix a calcular la mitjana aritmètica (\bar{x}) dels LTAS que es comparen i utilitzar-la per neutralitzar les diferències globals d'intensitat entre les mostres, mentre que les diferències locals, és a dir, els pics i valls de l'LTAS, es mantenen. Per exemple, si comparem els LTAS de β_{70} i β_{30} , observem que $\bar{x}(\text{LTAS } \beta_{70}) = 26$ y $\bar{x}(\text{LTAS } \beta_{30}) = 4$, per tant, la diferència entre les dues és $\Delta_{\bar{x}} = \bar{x}(\text{LTAS } \beta_{70}) - \bar{x}(\text{LTAS } \beta_{30}) = 22$. Si, a continuació, sumem a cada valor de la segona seqüència de l'LTAS (en aquest cas β_{30}) el valor de la $\Delta_{\bar{x}}$, neutralitzem l'efecte de la diferència global d'intensitat. Si es vol visualitzar gràficament aquesta correcció, en el cas de les corbes dels LTAS β_{30} i β_{70} de la figura 3 es pot dir que es desplaça cap amunt la línia discontinua inferior (β_{30}) de 22 unitats, fins que se sobreposa a la superior (β_{70}), amb el resultat que s'observa a la figura 4.

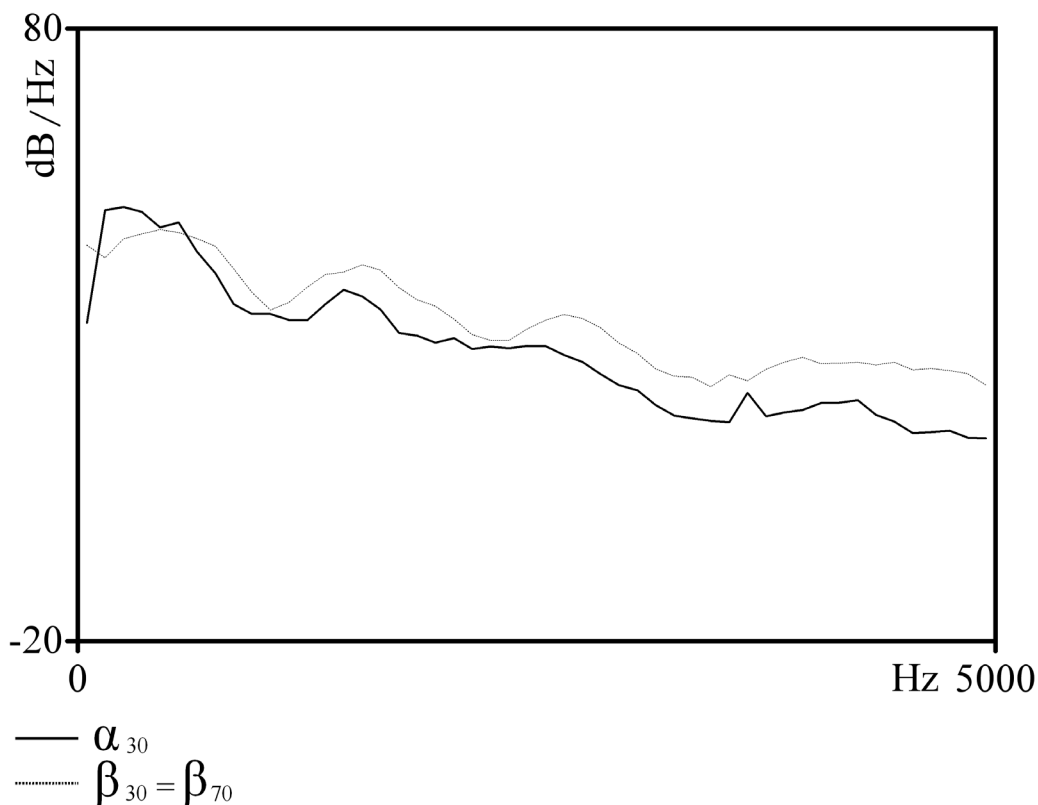


Figura 4 – LTAS de les mostres α_{30} , β_{30} y β_{70} després de corregir els efectes de la intensitat global de la gravació

4 Presentació dels resultats

Recordem que un dels objectius d'aquest treball és comprovar si l'LTAS és un paràmetre resistent al canvi de llengua (v. apartat 4.2), és a dir si els resultats de l'aplicació d'aquesta tècnica a mostres d'un mateix parlant

en llengües diferents són comparables amb els que s'obtenen quan les dues mostres igualment d'un mateix parlant estan en la mateixa llengua. Per tant, la primera fase d'aquest treball consisteix a aplicar la tècnica d'anàlisi en qüestió a un corpus format per gravacions en una sola llengua (apartat 4.1) i, a continuació, a mostres de parla en dues llengües diferents (apartat 4.2).

4.1 Variació intralocutor en un corpus monolingüe

Per determinar el grau de fiabilitat de la comparació de l'LTAS en si mateix, s'ha aplicat la tècnica d'anàlisi al subcorpus format per les 13 gravacions de frases fonèticament balancejades en italià i les 13 gravacions del conte *La tramuntana i el sol* en la mateixa llengua. La hipòtesis en aquest cas és que, si l'LTAS és un paràmetre robust en la comparació de veus, el Δ_{LTAS} entre les dues mostres α i β del mateix subjecte hauria de ser inferior al Δ_{LTAS} entre cadascuna d'aquestes mostres i qualsevol altra mostra de subjectes diferents. En termes més formals, si definim com $\Delta_{\alpha\beta}$ la distància entre els LTAS de la mostra α i la mostra β i com D el conjunt de les distàncies Δ entre α i totes les altres mostres del subcorpus:

$$Hp1 \Leftrightarrow \forall \Delta \in D \wedge \Delta \neq \Delta_{\alpha\beta} : \Delta_{\alpha\beta} < \Delta$$

L'aplicació de l'script al conjunt de dades analitzades proporciona els resultats detallats que s'ofereixen a l'Apèndix 1. L'anàlisi dels resultats revela que la hipòtesi es compleix perfectament per a 10 locutors de 13, és a dir en un 77% dels casos, la qual cosa representa un nivell molt satisfactori. S'ha de concloure, per tant, que en les condicions de gravació esmentades a l'apartat 3.1. el càlcul de les distàncies entre els LTAS és una tècnica que proporciona informacions valuoses, que, combinades amb les que provinguin de l'anàlisi d'altres paràmetres acústics, poden contribuir a formar el posicionament del pèrit. En concret, a l'hora d'interpretar els resultats de la tècnica en qüestió en un cas real, el que el pèrit hauria de concloure és que si la distància entre l'LTAS de la mostra dubitada i la indubitada és la més petita de totes, hi ha un nivell força bo de probabilitat (un 75%) que les dues mostres provinguin de la mateixa font; en aquest sentit la tècnica que hem utilitzat pot aportar elements en favor de la hipòtesi de la fiscalia, que sol ser justament que la gravació dubitada i la indubitada són en realitat de la mateixa persona. De la mateixa manera, si el pèrit observa que la distància entre l'LTAS de la mostra dubitada i la indubitada és la més gran de totes hi ha un nivell molt bo de probabilitat (un 100%, a partir de les nostres dades) que les dues mostres no provinguin de la mateixa font; en aquest sentit la tècnica que s'ha descrit pot aportar elements en contra de la hipòtesi de la fiscalia i en favor de la hipòtesi de la defensa³.

4.2 Efecte del canvi de llengua

Un cop establert que el càlcul de les distàncies entre LTAS proporciona resultats útils en el cas d'un corpus monolingüe, volem comprovar si aquests resultats es mantenen en el cas de gravacions en llengües diferents, és a dir —en termes més formals— si l'LTAS és una paràmetre resistent al canvi de llengua. La hipòtesi en aquest cas és que el Δ_{LTAS} entre les dues mostres α (en una llengua) i γ (en una altra llengua) del mateix subjecte hauria de ser inferior al Δ_{LTAS} entre cadascuna d'aquestes mostres i qualsevol altra mostra de subjectes diferents. Per tant, si definim com $\Delta_{\alpha\gamma}$ la distància entre els LTAS de la mostra α i la mostra γ i com D el conjunt de les distàncies Δ entre α i totes les altres mostres del subcorpus:

$$Hp2 \Leftrightarrow \forall \Delta \in D \wedge \Delta \neq \Delta_{\alpha\gamma} : \Delta_{\alpha\gamma} < \Delta$$

Per comprovar aquesta hipòtesi, s'ha aplicat la tècnica d'anàlisi al subcorpus format per les gravacions del conte *La tramuntana i el sol* en italià i en friülà llegit pels 13 informants. Els resultats, que es detallen a l'apèndix 2, coincideixen amb els que s'han exposat en el cas d'anàlisi de gravacions en una sola llengua a l'apartat anterior, ja que la hipòtesi, en aquest cas, també es compleix per a 10 locutors de 13, és a dir en un 77% dels casos. Per tant, s'ha de concloure que el canvi de llengua, en les condicions de gravació esmentades, no té efectes sobre els resultats proporcionats mitjançant la tècnica del càlcul de les distàncies entre els LTAS.

³ Determinar la força d'aquesta evidència contrària (és a dir *quant* en contra de la hipòtesi de la fiscalia indiquen les dades de l'LTAS) i determinar la manera més adequada per expressar aquesta conclusió constitueixen un tema que transcendeix les finalitats d'aquest treball (vegeu Gil, 2014 per a una síntesi del debat sobre la presentació dels resultats de les comparacions judicials de mostres de parla).

5 Conclusions

Aquest treball, tal com s'ha expressat a l'apartat 2, perseguia dos objectius, un dels quals era de tipus aplicat i l'altre tenia un caràcter teòric. Pel que fa a l'objectiu aplicat, s'ha pogut definir un protocol d'anàlisi basat en un script de Praat que permet calcular automàticament les distàncies entre els LTAS de diverses mostres. L'script en qüestió, a més de ser aplicable al cas de l'estudi concret que s'ha presentat, es pot utilitzar en qualsevol altra situació en què es vulgui utilitzar l'LTAS com a paràmetre en la comparació de veus.

Pel que fa a la pregunta d'investigació teòrica, és a dir si l'LTAS és un paràmetre resistent al canvi de llengua, els experiments que s'han exposat als apartats 4.1 i 4.2 permeten concloure que efectivament l'LTAS té aquestes característiques, ja que obtenim els mateixos resultats satisfactoris tant si es comparen mostres en una sola llengua com en dues. Aquesta característica fa que el càlcul de distàncies entre els LTAS de les mostres de veu sigui un dels elements que poden contribuir a conformar el judici del pèrit també en els casos en què hagi de comparar mostres en llengües diferents.

6 Bibliografia

- BOERSMA, Paul; KOVAČIĆ, Gordana. «Spectral characteristics of three styles of Croatian folk singing». *Journal of the Acoustical Society of America*, núm. 119 (2006).
- BOERSMA, Paul; WEENINK, David. *Praat: doing phonetics by compute. Version 5.3.57*. [S. l.]: 2013. <<http://www.praat.org/>> [Consulta: 27 octubre 2013]
- BRUYNINCKX, Marielle; HARMEGNIES, Bernard; LLISTERRI, Joaquim; POCH, Dolors. «Language-induced voice quality variability in bilinguals». *Journal of Phonetics*, núm. 22 (1994).
- CICRES, Jordi. «Los sonidos fricativos sordos y sus implicaciones forenses». *Estudios Filológicos*, núm. 48 (2011).
- ELVIRA-GARCÍA, Wendy; ROSEANO, Paolo; FERNÁNDEZ PLANAS, Ana Ma. *LTAS differences. Praat script*. [S. l.]: 2014. <<http://stel.ub.edu/labfon/en>>
- GIL, Juana. «Más allá del “efecto CSI”: avances y metas en fonética judicial». A: Y. Congosto Martín, M.L. Montero Curiel i A. Salvador Plans (ed.) *Fonética Experimental, Educación Superior e Investigación*. Vol. I. Madrid: Arco Libros, 2014, p. 63-112.
- GOLD, Erica; FRENCH, Peter. «International practices in forensic speaker comparison». *International Journal of Speech, Language and the Law*, núm. 18 (2).
- HARMEGNIES, Bernard; BRUYNINCKX, Marielle; LLISTERRI, Joaquim; POCH, Dolors. «Effects of language change in voice quality in bilingual speakers. Corpus content effects». A: *Proceedings of the 2nd European conference on speech communication and technology*, 1991, Vol. 1, p.165-168.
- KLINGHOLZ, F.; PENNING, R.; LIEBHART, E. (1988). «Recognition of low-level of alcohol intoxication from speech signal». *Journal of the Acoustical Society of America*, núm. 84(3) (1988).
- KÜNZEL, Hermann J. «La prueba de voz en la investigación criminalística». *Ciencia Forense*, núm. 1(1) (2011).
- MAJEWSKI, Wojciech; HOLLIEN, Harry. «Euclidean distance between long-term speech spectra as a criterion for speaker identification». A: *Proceedings of the Speech Communication Seminar*, 1974, p. 303-310.
- MANWA, Lawrence Ng.; CHEN, Yang; CHAN, Ellen Y.K. «Cantonese and English Produced by Proficient Cantonese-English Bilingual Speakers: A Long-Term Average Spectral Analysis». *Journal of Voice*, núm. 26(4) (2010).

MOLINA DE FIGUEIREDO, Ricardo; BERNALES LILLO, Mario. «Reconocimiento de hablantes basado en el espectro a largo tiempo». A: *Actas del VI Simposio Internacional de Comunicación Social*. Santiago de Cuba: Centro de Lingüística Aplicada, 1999, p. 1372-1378.

NOLAN, Francis J. *The Phonetic Bases of Speaker Recognition*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

NOLAN, Francis J. «Speaker identification evidence: its forms, limitations, and roles». *Proceedings of the conference 'Law and Language: Prospect and Retrospect', December 12-15 2001, Levi*.

NORDENBERG, Maria; SUNDBERG, Johan. «Effect on LTAS of vocal loudness variation». *TMH Quarterly Progress Status Report*, núm. 45(1) (2003).

PITTAM, Jeff. «The long term spectral measurement of voice quality as a social and personality marker: A review». *Language and Speech*, núm. 30 (1987).

PRUZANSKY, Sandra. «Pattern-matching Procedure for Automatic Talker Recognition». *Journal of the Acoustical Society of America*, núm. 35 (1963).

ROSE, Philip. *Forensic speaker identification*. Londres: Taylor & Francis, 2002.

ZALEWSKI, Janusz; MAJEWSKI, Wojciech; HOLLIEN, Harry. «Cross-correlation between Long-Term Speech Spectra as a criterion for speaker identification». *Acoustics*, núm. 34 (1975).

Agraïments

Volem expressar el nostre agraïment al Dr. Christoph Gabriel i la Dra. Andrea Pešková de l'*Institut für Romanistik* de la *Universität Hamburg*, que han posat a disposició les gravacions, i a la Dra. María Machuca de la Universitat Autònoma de Barcelona, gràcies a una conversa per mitjà de la qual va néixer la primera idea per a aquest treball.

Gravació 1	Gravació 2	Distància
12_cuento	12_frases	2.308414667
12_cuento	01_cuento	2.548576666
12_cuento	11_cuento	2.637812827
12_cuento	11_frases	2.884696525
12_cuento	13_cuento	3.010699278
12_cuento	13_frases	3.238308443
12_cuento	01_frases	3.418559191
12_cuento	10_cuento	3.514675772
12_cuento	15_cuento	3.517816442
12_cuento	03_frases	4.181263236
12_cuento	10_frases	4.184941995
12_cuento	02_frases	4.21677557
12_cuento	03_cuento	4.242358349
12_cuento	02_cuento	4.385735093
12_cuento	14_cuento	4.417671679
12_cuento	06_cuento	4.764350592
12_cuento	15_frases	5.005767139
12_cuento	06_frases	5.124160588
12_cuento	05_cuento	5.182258796
12_cuento	05_frases	5.32833451
12_cuento	77_cuento	5.333502372
12_cuento	77_frases	5.783851478
12_cuento	14_frases	5.95055563
12_cuento	04_cuento	6.013563255
12_cuento	04_frases	6.387031473

Gravació 1	Gravació 2	Distància
13_cuento	13_frases	1.496391639
13_cuento	12_cuento	3.010699278
13_cuento	11_cuento	3.630105092
13_cuento	01_cuento	3.789568996
13_cuento	12_frases	3.88555916
13_cuento	02_cuento	4.056603645
13_cuento	11_frases	4.076979542
13_cuento	02_frases	4.157610546
13_cuento	06_cuento	4.728053588
13_cuento	15_cuento	4.851509326
13_cuento	10_cuento	4.902022062
13_cuento	01_frases	4.948694644
13_cuento	03_cuento	5.199700694
13_cuento	06_frases	5.342961347
13_cuento	03_frases	5.713037439
13_cuento	10_frases	5.767207035
13_cuento	14_cuento	6.134667074
13_cuento	05_cuento	6.157538302
13_cuento	77_cuento	6.293585228
13_cuento	05_frases	6.4629423
13_cuento	15_frases	6.598874225
13_cuento	04_cuento	6.604952121
13_cuento	77_frases	6.977127559
13_cuento	04_frases	7.126324529
13_cuento	14_frases	7.819439016

Gravació 1	Gravació 2	Distància
15_cuento	14_cuento	2.409649025
15_cuento	10_cuento	2.486829661
15_cuento	10_frases	2.619177365
15_cuento	15_frases	2.695709216
15_cuento	01_cuento	3.459994841
15_cuento	12_cuento	3.517816442
15_cuento	01_frases	3.604226998
15_cuento	11_cuento	3.727434156
15_cuento	11_frases	3.840500188
15_cuento	14_frases	4.121056672
15_cuento	03_cuento	4.15036632
15_cuento	12_frases	4.233984611
15_cuento	03_frases	4.317367897
15_cuento	13_cuento	4.851509326
15_cuento	13_frases	4.973738285
15_cuento	77_cuento	4.982913414
15_cuento	02_frases	5.158978672
15_cuento	06_cuento	5.300425002
15_cuento	02_cuento	5.32446246
15_cuento	77_frases	5.361803795
15_cuento	05_frases	5.623100864
15_cuento	06_frases	5.71902483
15_cuento	05_cuento	6.035139353
15_cuento	04_frases	6.156453372
15_cuento	04_cuento	6.460916844

Gravació 1	Gravació 2	Distància
14_cuento	15_frases	1.958444906
14_cuento	15_cuento	2.409649025
14_cuento	10_frases	2.652835813
14_cuento	14_frases	2.839151536
14_cuento	10_cuento	3.201377592
14_cuento	01_frases	3.900103787
14_cuento	11_frases	4.299448961
14_cuento	01_cuento	4.337733273
14_cuento	03_frases	4.344381044
14_cuento	12_cuento	4.417671679
14_cuento	11_cuento	4.557371963
14_cuento	03_cuento	4.817886794
14_cuento	12_frases	4.98342963
14_cuento	77_cuento	5.174053655
14_cuento	77_frases	5.246859588
14_cuento	05_frases	5.751946988
14_cuento	06_cuento	6.003663311
14_cuento	13_frases	6.097979829
14_cuento	13_cuento	6.134667074
14_cuento	04_frases	6.135783357
14_cuento	02_frases	6.338197096
14_cuento	06_frases	6.39299144
14_cuento	05_cuento	6.395691774
14_cuento	04_cuento	6.504516899
14_cuento	02_cuento	6.66233619

Gravació 1	Gravació 2	Distància
03_cuento	10_cuento	3.282900137
03_cuento	02_frases	3.583448011
03_cuento	02_cuento	3.768895554
03_cuento	11_cuento	3.941886069
03_cuento	15_cuento	4.15036632
03_cuento	12_cuento	4.242358349
03_cuento	10_frases	4.28794636
03_cuento	01_cuento	4.40620484
03_cuento	05_cuento	4.441589851
03_cuento	77_cuento	4.470568289
03_cuento	14_cuento	4.817886794
03_cuento	03_frases	4.86014844
03_cuento	11_frases	4.92033308
03_cuento	01_frases	5.021196895
03_cuento	04_cuento	5.032584009
03_cuento	15_frases	5.140197821
03_cuento	05_frases	5.184002453
03_cuento	13_cuento	5.199700694
03_cuento	13_frases	5.249189916
03_cuento	04_frases	5.282346917
03_cuento	06_cuento	5.350241209
03_cuento	12_frases	5.383687659
03_cuento	77_frases	5.584938438
03_cuento	06_frases	6.139898997
03_cuento	14_frases	6.661141667

Apèndix 2

En aquest apèndix es presenten els resultats de l'aplicació de la tècnica d'anàlisi de l'LTAS a un corpus format per mostres de veu en dues llengües, italià i friülà. Cada taula conté els resultats de la comparació entre l'LTAS d'una mostra i l'LTAS de totes les altres mostres del corpus. Per a cada parell de mostres (els noms de les quals s'indiquen a les primeres dues columnes de cada taula), es proporciona la distància entre elles (a la tercera columna). La línia de la taula que correspon amb dues mostres de veu de la mateixa persona està ombrejada. Com que les distàncies s'han ordenat de manera decreixent, els casos en què la Hp1 es compleix (vegeu apartat 4.2) són aquells on la línia ombrejada és la primera de la taula (excloent, òbviament, la capçalera).

Gravació 1	Gravació 2	Distància	Gravació 1	Gravació 2	Distància	Gravació 1	Gravació 2	Distància
04_friulan	06_friulan	2.993260905	03_friulan	99_friulan	2.838105971	15_friulan	14_italian	2.281541393
04_friulan	04_italian	3.080976659	03_friulan	11_friulan	2.974658573	15_friulan	15_italian	2.358818964
04_friulan	06_italian	3.344119783	03_friulan	12_friulan	2.991342541	15_friulan	14_friulan	2.736392262
04_friulan	99_italian	3.352919186	03_friulan	99_italian	3.045389933	15_friulan	10_friulan	3.478032014
04_friulan	99_friulan	3.749891778	03_friulan	01_italian	3.119929714	15_friulan	10_italian	3.739095346
04_friulan	11_friulan	4.112703772	03_friulan	11_italian	3.149677382	15_friulan	01_friulan	4.380046333
04_friulan	03_friulan	4.628875904	03_friulan	12_italian	3.293124549	15_friulan	11_friulan	4.785817361
04_friulan	11_italian	4.749070539	03_friulan	15_italian	3.389250710	15_friulan	03_friulan	4.845473450
04_friulan	05_friulan	4.776235510	03_friulan	02_friulan	3.478460419	15_friulan	01_italian	4.932224596
04_friulan	05_italian	5.043830428	03_friulan	03_italian	3.568160355	15_friulan	12_friulan	5.119561932
04_friulan	03_italian	5.452376276	03_friulan	10_italian	3.599790238	15_friulan	99_friulan	5.132475479
04_friulan	15_italian	5.667202413	03_friulan	01_friulan	3.858780744	15_friulan	12_italian	5.289867622
04_friulan	12_friulan	5.692902446	03_friulan	02_italian	3.938338775	15_friulan	11_italian	5.437260685
04_friulan	02_friulan	5.754569270	03_friulan	06_italian	4.048715715	15_friulan	03_italian	5.523779976
04_friulan	02_italian	5.825478572	03_friulan	14_italian	4.104513655	15_friulan	99_italian	5.598352966
04_friulan	14_italian	5.859078475	03_friulan	13_italian	4.433323609	15_friulan	02_friulan	6.013253449
04_friulan	12_italian	5.896209626	03_friulan	05_italian	4.567571565	15_friulan	06_italian	6.537980944
04_friulan	10_italian	5.905830538	03_friulan	06_friulan	4.619218260	15_friulan	04_friulan	6.606404191
04_friulan	01_italian	6.070848985	03_friulan	04_friulan	4.628875904	15_friulan	13_italian	6.614465871
04_friulan	01_friulan	6.099183879	03_friulan	10_friulan	4.722583501	15_friulan	06_friulan	6.842250126
04_friulan	10_friulan	6.109954500	03_friulan	15_friulan	4.845473450	15_friulan	02_italian	7.127316968
04_friulan	13_friulan	6.546146216	03_friulan	13_friulan	4.949482225	15_friulan	05_italian	7.179419976
04_friulan	13_italian	6.589322154	03_friulan	04_italian	4.970647593	15_friulan	13_friulan	7.396139038
04_friulan	15_friulan	6.606404191	03_friulan	05_friulan	4.974530703	15_friulan	04_italian	7.526261096
04_friulan	14_friulan	7.077890979	03_friulan	14_friulan	5.351544861	15_friulan	05_friulan	7.646128098