

**VALIDACIÓ DE LA CARTA VOCÀLICA DEL
CATALÀ ORIENTAL CENTRAL
MITJANÇANT LA TÈCNICA DE
L'ESCALAMENT MULTIDIMENSIONAL**

JOSEP MATAS
Laboratori de Fonètica
Facultat de Filologia U. B.

RESUM

Diferents autors han identificat els paràmetres acústics que permeten de configurar la carta vocàlica del català, a partir dels valors dels dos primers formants. El present estudi preten confirmar que aquests són els paràmetres acústics més definitoris del timbre vocàlic mitjançant la tècnica de l'Escalament Multidimensional (MDS). S'han analitzat les produccions acústiques de 4 informants (parlants adults del català oriental central) i s'han obtingut per a cada producció la freqüència fonamental, i els 3 primers formants amb la finalitat de generar a partir d'aquestes una matriu de distàncies euclidianes sobre la qual s'ha aplicat l'algorisme ALSCAL. Els resultats mostren un espai bidimensional amb índexs àmpliament satisfactoris d'ajust, on queden representades les vuit vocals del català. La configuració obtinguda a partir del MDS és estructuralment exacta a l'obtinguda pels dos primers formants.

ABSTRACT

Various authors have found the acoustic parameters that allow us to set up the vowel chart for Catalan from the values of the first two formants. The present study aims to confirm that these are the acoustic parameters that better define vowel timbre using the method of Multidimensional Scaling (MDS). We analysed the productions of four subjects -adult speakers of the central variety of Catalan-. For each sample obtained the values of the fundamental frequency and the first three formants with the aim of creating a table containing the "euclidian distances; afterwards we applied the ALSCAL algorithm analysis. The results show a bidimensional space with widely satisfactory adjustment rate in which the eight Catalan vowels are represented. The chart obtained from MDS is structurally exact to the one obtained from the first two vowel formants.

1. PRESENTACIÓ

Els trets fonològics de la majoria dels sistemes vocàlics han estat identificats com a tres dimensions que tradicionalment han permès de diferenciar les vocals entre 1)-altes, mitjanes i baixes; 2)-anterior, centrals i posteriors; i 3)-arrodonides i no arrodonides (Ladefoged, 1996). A les vocals, el primer formant depèn de la forma de la cavitat faríngia: quan més estreta major freqüència i viceversa. El segon formant se supedita a la posició de la llengua: si aquesta s'enlaira en la part anterior, la freqüència pujarà en relació directa a l'alçada i l'anterioritat assolides; si ho fa en la part posterior, la freqüència davallarà en relació inversa a l'alçada. (Martínez Celdrán, 1994). Les dues primeres diferenciacions estan relacionades amb el primer i el segon formants respectivament. D'aquesta manera les cartes vocàliques de les diferents llengües han estat establertes mesurant els valors dels dos primers formants per a cada vocal, obtenint posteriorment una representació gràfica d'aquests valors en un eix de coordenades on l'eix d'abscisses correspon a F1 i l'eix d'ordenades a F2 (vegeu figura 3). La resta de paràmetres acústics han estat despreciats a l'hora d'establir la carta vocàlica. El cas del català no ha estat una excepció i la carta vocàlica del català ha estat obtinguda per diferents autors a partir dels dos primers formants (Cerdà, R. 1972; Martí, J. 1985; Recasens, D. 1991). L'objectiu del present treball és validar aquestes dades i, per tant, la hipòtesis articulatòria de la bidimensionalitat de la carta vocàlica del català. Per a tal objectiu es proposa la utilització de l'algoritme ALSCAL, que a partir d'una matriu de valors de proximitat d'una serie d'objectes, (en aquest cas vocals) obté un espai mètric on aquests objectes queden representats. L'avantatge d'aquesta tècnica és que permet d'obtenir els valors de proximitat a partir de tots els paràmetres acústics d'interès. Si els valors de F1 i de F2 son necessaris i suficients per obtenir la representació del sistema vocàlic del català, la construcció d'un espai mètric que tingui en compte altres paràmetres acústics de les vocals, (concretament els valors dels F1, F2, F3 i F0 per a cada vocal) no hauria de diferir de la construcció d'un espai mètric a partir només dels dos primers formants (tal com s'ha vingut fent tradicionalment).

2. LA TÈCNICA DE L'ESCALAMENT MULTIDIMENSIONAL (MDS)

El supòsit conceptual subjacent a la tècnica del MDS és el següent: donada una sèrie de n elements sobre els quals es perceben un conjunt de similituds o disimilituds, és possible trobar un espai, dotat d'una determinada mètrica, tal que per una adequada dimensió es troba una configuració de N punts per als quals hi ha una correspondència entre les seves distàncies i les similituds percebudes, (Sierra, 1986). L'avantatge d'aquesta tècnica és que permet una representació gràfica dels objectes en un espai geomètric. Evidentment, per que aquesta representació gràfica sigui fàcilment interpretable, el nombre de dimensions obtingudes no hauria de ser superior a tres. Així doncs, l'objectiu principal del MDS és la construcció d'un espai mètric amb el menor nombre de dimensions possibles, que permeti de representar les proximitats entre els elements amb el major grau de fidelitat (Pedret, 1986). No obstant, abans de continuar hem de fer algunes matitzacions respecte del concepte de proximitat:

Tal com queda reflectit al supòsit conceptual, la proximitat entre dos elements pot correspondre a proximitat percebuda per un informant. Però la tècnica pot treballar amb altres índexs de proximitat. Podríem definir la proximitat entre dos elements com un valor que expressa la similitud o la distància que existeix entre dos objectes. D'aquesta manera parlariem de distància per a tota mesura que verifiqui que (Bisquerra, 1989):

a.- Si la distància entre dos elements és més gran que 0, la distància entre qualsevol d'aquests dos elements i ell mateix és 0.

b.- La distància entre l'element a i l'element b és la mateixa que la distància entre l'element b i l'element a .

c.- La distància entre l'element a i l'element b és igual o més petita que el sumatori de les distàncies entre l'element a i c més la distància entre c i b .

Per parlar de similitud, el valor que s'obté és més gran quan menys allunyats estan els punts entre els quals es medeix.

Per al nostre cas utilitzarem la distància euclideana, que es defineix com l'arrel quadrada de la suma de les diferències entre els elements al quadrat. ($d(xy) = \sqrt{\sum (x_i - y_i)^2}$), fent servir l'algoritme ALSCAL (multidimensional SCALing) que ha estat incorporat al SPSS 6.0. L'algoritme considera per defecte que la matriu de dades és una matriu quadrada simètrica amb les dades mesurades amb escala ordinal com a mínim. Els orígens de l'algoritme ALSCAL es troben a Torgerson (1952, 1958), Kendall (1955) i Shepard (1962).

Un altre concepte amb què ens haurem de manegar a l'hora d'utilitzar la tècnica és el de dimensionalitat. La dimensionalitat fa referència al nombre de dimensions necessàries per representar un conjunt d'objectes a partir dels índexs de proximitat obtinguts. Existeixen criteris estadístics que permeten d'establir un punt de tall per a la dimensionalitat, no obstant, moltes vegades són els criteris de caràcter substantiu, és a dir, el fet que la dimensió sigui interpretable o no, els que fan que ens quedem amb dimensionalitats de major o menor ordre.

Com a criteris estadístics per a l'algoritme ALSCAL tenim dos índexs de bondat de l'ajust (S-stress de Young i Stress de Kruskal), la correlació múltiple al quadrat (RSQ) i el diagrama de Shepard. L'S-stress de Young (Young i Lewyckyj, 1979) és un estadístic que s'obté per a cadascuna de les iteracions obtingudes. Aquest indicador és progressivament més baix per a cadascuna de les iteracions. El càlcul de les iteracions finalitza quan la reducció del S-stress és inferior a 0.001 (a aquest valor de la diferència entre una iteració i la precedent l'anomenem indicador de millora o perfeccionament "improvement"). L'indicador Stress de Kruskal (1964) és una mesura denominada "S" que es mou entre 0 i 1, molt similar al S-stress. El primer es defineix en termes de distàncies i el segon en termes de distàncies al quadrat. Els valors òptims de S-stress i Stress estan en funció de la dimensionalitat de l'espai geomètric obtingut. Kruskal (1964) i Spence i Ogilve, (1973)

fan les següents propostes (veure Figura 1 i 2 respectivament):

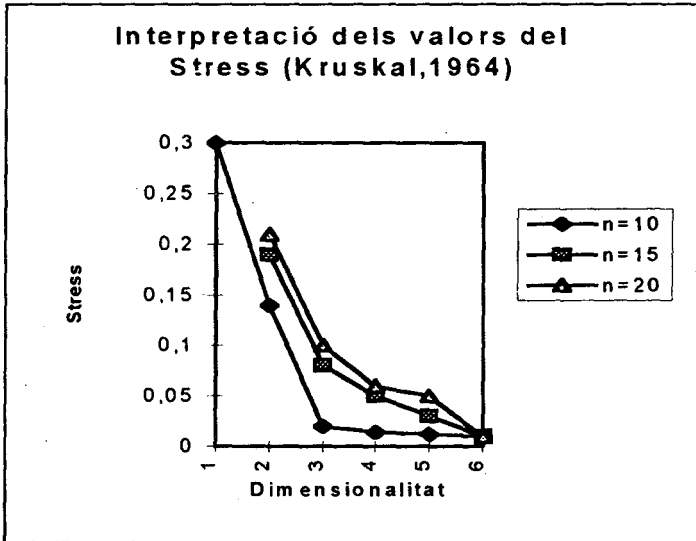


Figura 1.

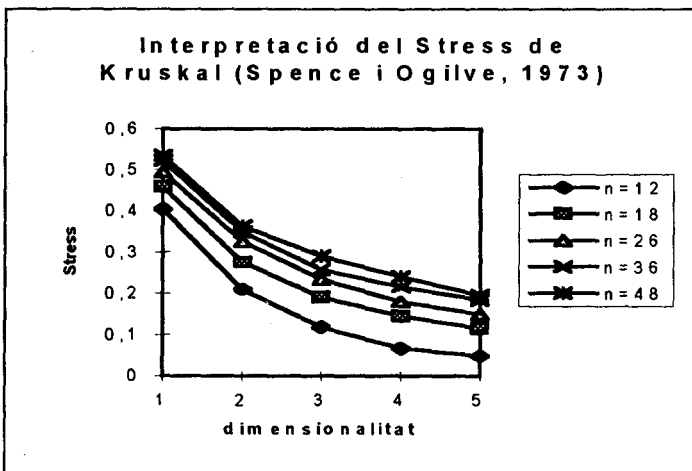


Figura 2

Respecte de l'índex de correlació al quadrat (RSQ) hem de dir que és un índex del percentatge de varianza explicada per a la configuració obtinguda. Es calcula a partir dels productes dels valors escalars estimats (Davison, 1983). Un bon ajust implica valors de $RSQ > 0.95$.

Com a últim indicador hem de parlar del diagrama de Shepard (1962), aquest permet de detectar anomalies a la configuració obtinguda. El diagrama de Shepard és una gràfica on l'eix d'abcisses representa les disparitats i l'eix d'ordenades representa les distàncies. En tant que la configuració no presenti anomalies, la representació gràfica proximitats vs. distàncies s'hauria d'ajustar a una línia recta.

3. MÈTODE

3. 1. Selecció dels estímuls

Els estímuls analitzats van ser les vuit vocals del català [i, e, e, a, ə, o, u, ə]. Les vocals van ser produïdes en context consonàntic tònic a excepció de la vocal neutra que va ser produïda en context consonàntic àton. Amb l'objectiu de minimitzar les possibles influències de les consonants precedents i següents sobre les vocals objecte d'anàlisi, el context consonàntic estava configurat per seqüències de tipus CVCV on C sempre era una articulació fricativa o oclusiva sorda. La primera C era una d'aquestes consonants: [p, t, k, f, s, ʃ]; la segona, [t]. D'aquesta manera van ser seleccionades 42 seqüències planes d'estructura sil·làbica CVCV que s'ajustaven a les restriccions fonotàctiques del català estàndard. Per donar més naturalitat a les produccions objecte d'anàlisi, les seqüències esmentades es van inserir en frases de suport.

3.1.2.- Informants

Quatre subjectes (dos de sexe femení i dos de sexe masculí) catalanoparlants de llengua materna i d'edats compreses entre els 25 i els 30 anys.

3.3. Procediment

3.3.1. Enregistrament magnetofònic

L'enregistrament es va dur a terme dins la cabina insonoritzada del Laboratori de Fonètica de la U.B.

3.3.2. Digitalització de les seqüències i obtenció dels paràmetres d'interès

Les seqüències van ser digitalitzades en fitxers de so amb l'analitzador acústic MultiSpeech 3.0 de Kay Elemetrics. Amb la tècnica del LPC es van obtenir els següents paràmetres acústics: F0, F1, F2, i F3. Com que cada informant va produir un total de quaranta-dos estímuls amb dos vocals per producció, es van obtenir tres-centes trenta-sis dades acústiques per informant (vuitanta-quatre per paràmetre). Quatre informants van donar com a resultat un total de mil tres-centes quaranta-quatre dades.

4. RESULTATS.

L'anàlisi estadística de les dades es va dur a terme amb el paquet estadístic SPSS 6.0

Per a cada vocal es van obtenir les mitjanes de cadascun dels paràmetres acústics estudiats. La carta vocàlica del català és una representació espacial en dos eixos de coordenades on l'eix d'abscisses correspon al primer formant i l'eix d'ordenades al segon (Cerdà, R. 1972; Martí, J. 1984; Recasens, D. 1991). A continuació es donen els valors mitjos per als F1, F2, i F3.

Valors mitjos de les vocals del català central								
	[i]	[e]	[ɛ]	[a]	[ɔ]	[o]	[u]	[ɔ]
F1	289.66	500.87	609.5	757.04	634.20	530.28	343.66	558.58
F2	2418.2	2048.2	1966	1577.5	1183.2	1145.2	1085.9	1592.1
F3	2948.5	2774.9	2807.2	2604.5	2687.2	2524.2	2619.2	2711.2

Taula 1

Els valors per a cadascuna de les vocals del català i la seva representació gràfica han estat obtinguts prèviament per altres investigadors. Els valors resultants del present estudi són coincidents amb els d'altres autors com Recasens (1991).

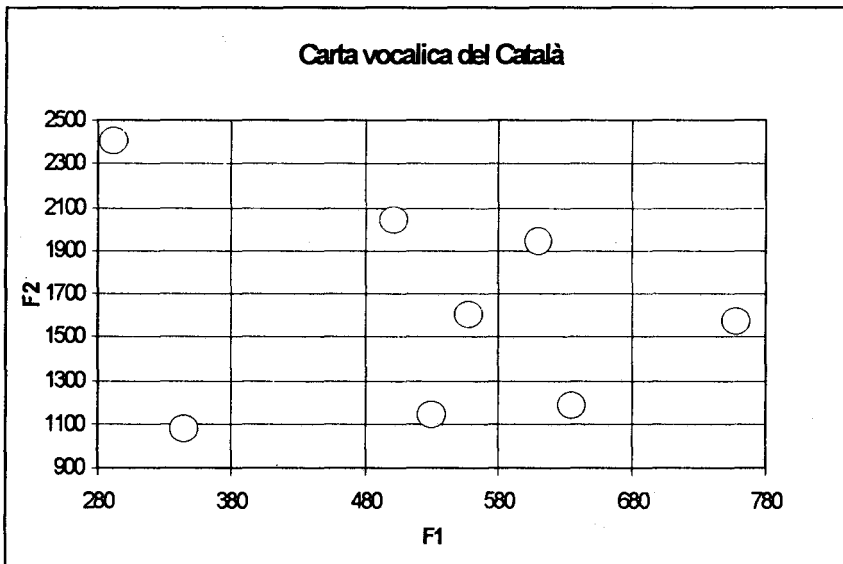


Figura 3.

4.1. Obtenció de les dimensions subjacents mitjançant la tècnica d'escalament multidimensional.

Com hem dit prèviament, la carta vocàlica ha estat àmpliament representada a partir dels valors de F1 i F2. Si realment aquests paràmetres acústics són suficients per representar la carta vocàlica, una representació obtinguda a partir d'una matriu de proximitats en valors de distàncies euclidianes entre les vocals hauria de coincidir amb la de F1 i F2, encara que la matriu de distàncies es calculés tenint en compte el to fonamental i els 3 primers formants. Per contrastar aquesta hipòtesi es va dur a terme un Escalament Multidimensional (MDS). En primer lloc obtenim la matriu de distàncies euclideanes aplicant la fórmula següent: $d(xy) = \sqrt{\sum (x_i - y_i)^2}$ on x i y són qualsevol parell de vocals. (vegeu Taula 2)

Matriu de distàncies euclidianes								
	[i]	[e]	[ɛ]	[a]	[o]	[ɔ]	[u]	[ɯ]
[i]	0							
[e]	950,127	0						
[ɛ]	1198,95	367,323	0					
[a]	2112,75	1221,767	999,179	0				
[o]	2702,009	1890,145	1705,361	926,404	0			
[ɔ]	2780,331	1934,132	1781,853	1085,402	794,93	0		
[u]	2793,31	2024,73	1916,976	1347,666	855,13	488,77	0	
[ɯ]	1874,247	1038,526	844,373	505,379	954,67	1042,2	1176,9	0

Taula 2

A partir de la matriu de distàncies euclidianes es procedeix al càlcul de les dimensions mitjançant l'algoritme ALSCAL. Aquest opera amb la fórmula del S-stress de Young per a cada iteració. Quan el S-stress és més petit que 0,005 el procés de càlcul finalitza. Aquest procés també pot finalitzar quan l'índex de millora o perfeccionament (Improvement) presenta una reducció més petita de 0,001 (encara que el S-stress sigui superior a 0,005). El resultat del càlcul de les iteracions es presenta a la Taula 3. Com es pot comprobar el càlcul finalitza a la segona iteració quan el S-stress està per sota del nivell prefixat.

<i>Iteració</i>	<i>S-stress</i>	<i>Improvement (Índex de millora)</i>
1	,00770	
2	,00253	,00518

Taula 3

A continuació s'obtenen els valors de Stress a partir de la fórmula de Kruskal i de RSQ (percentatge de variances explicada per la configuració obtinguda). Vegeu Taula 4.

Stress	,00366
RSQ	,99994

Taula 4

Els resultats mostren una configuració amb dos dimensions que expliquen 99,994% de la variances en un nivell de Stress=0,00366. Els valors de cada vocal a cada dimensió es mostren a la Taula 5.

<i>Valors de les vocals a cada una de les dimensions obtingudes</i>		
	dimensió 1	dimensió 2
[i]	-2,4325	-0,4072
[e]	-1,251	-0,0416
[ɛ]	-0,9782	0,2664
[a]	0,296	0,688
[ɔ]	1,3027	0,3377
[o]	1,4497	-0,2237
[u]	1,5044	-0,7171
[ɔ̃]	0,1089	0,0975

Taula 5

A partir de les dades de la Taula 5 podem obtenir la representació gràfica de les vocals en l'eix de coordenades format per les dues dimensions resultants (vegeu Figura 4)

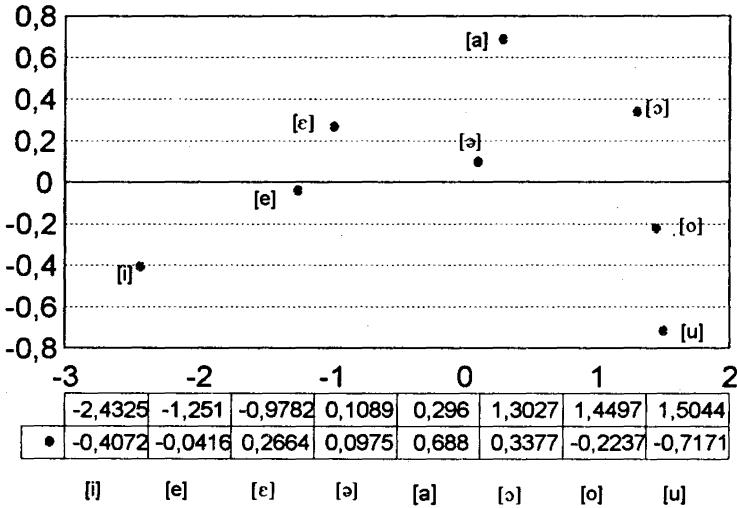


Figura 4

Com es pot apreciar la representació de la carta vocàlica tradicional obtinguda a partir únicament dels valors de F1 i F2 per una banda, i la representació obtinguda a partir de la tècnica del MDS per altre són estructuralment idèntiques.

Un altre indicador de l'existència d'anomalies en la configuració és el diagrama de Shepard. Recordem que un bon ajust està caracteritzat per una línia recta al diagrama. Primer hem d'obtenir els valors de disparitats entre les diferents vocals, (vegeu Taula 6).

<i>Valors de disparitats entre les vocals del català central</i>								
	[i]	[e]	[ɛ]	[a]	[ɔ]	[o]	[u]	[ə]
[i]	0							
[e]	1,227	0						
[ɛ]	1,609	0,411	0					
[a]	2,94	1,71	1,342	0				
[ɔ]	3,809	2,586	2,282	1,08	0			
[o]	3,887	2,707	2,477	1,47	0,6	0		
[u]	3,949	2,837	2,67	1,853	1,08	0,496	0	
[ə]	2,586	1,367	1,08	0,6	1,227	1,379	1,609	0

Taula 6

A partir d'aquí obtenim el diagrama de Shepard (vegeu Figura 5)

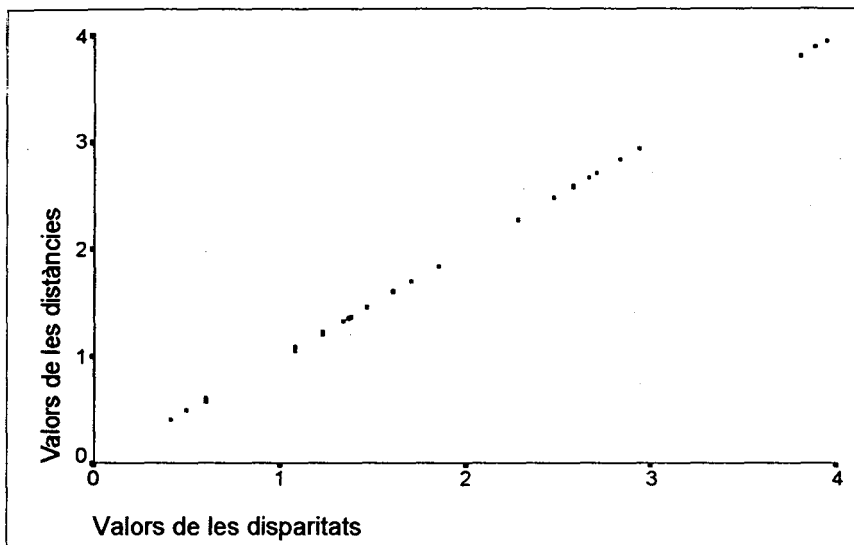


Figura 5

El diagrama de Shepard presenta un ajust perfecte a la linialitat, per tant, acceptem la configuració obtinguda com no anòmala.

4. CONCLUSIÓ

El conjunt de les anàlisis efectuades han permès de constatar de forma clara que els paràmetres acústics de F1 i F2 són crucials per definir estructuralment les vocals catalanes. Els F1 i F2 han estat associats pels fonetistes a la forma de la cavitat faríngia i a l'avançament lingual. Aquests permeten de classificar les vocals en altes, semialtes, semibaixes i baixes per una banda i en anteriors, centrals i posteriors per una altra. Per tant, a partir dels resultats obtinguts podem afirmar que aquestes dimensions són identificables mitjançant una tècnica d'obtenció de dimensions a partir de distàncies euclidianes (MDS). En ambdós casos trobem configuracions estructuralment anàlogues que validen les dues dimensions teòriques esmentades.

6. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- BISQUERRA ALZINA, R. (1989) *Introducción conceptual al análisis multivariable*, Barcelona, PPU.
- CERDÀ, R. (1972) *El timbre voálico en catalán*. Madrid. C.S.I.C.
- DAVISON, M.L. (1983) *Multidimensional scalling*. Nueva York. John Willey.
- KENDALL M.G. (1955) *Rank Correlation Methods*. Londres: Griffin.
- KRUSKAL, J.B. (1964) "Multidimensional Scalling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypotesis" *Psychometika*, 29, 1-27.
- LADEFOGED, P. I. MADDIESON, I. (1996) *The Sounds of the World's Languages*, Blackwell, Oxford.
- MARTÍ, J. (1984) "Paràmetres vocàlics del català", *Folia Phonetica*, 1, Lleida.
- MARTÍNEZ CELDRÁN, E. (1984) *Fonética*, Barcelona, Teide.
- MARTÍNEZ CELDRÁN, E. (1991) *Fonética experimental: Teoría y práctica*, Madrid, Síntesis.
- MARTÍNEZ CELDRÁN, E. (1995) *Estudios de Fonética Experimental*, VII, 196-218.
- MARTÍNEZ CELDRÁN, E. (1995) *La Fonètica*, Barcelona, Empuries.
- NORUSIS, M. J. (1982) *SPSS Introductory Guide: Basic Statistics and Operations*, New York: McGraw-Hill.
- NORUSIS, M.J. (1985) *Advanced Statistic Guide SPSS-X*, Nueva

York. McGraw-Hill.

PEDRET YEBRA, R. (1986) *Técnicas cuantitativas al servicio del Marketing: Métodos descriptivos de Análisis Multivariable*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Económicas. Barcelona. Universidad de Barcelona.

RECASENS, D. (1991) *Fonètica descriptiva del català*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans.

SHEPARD, R. N. (1962). "The analysis of proximities: multidimensional scaling with an unknown distance function". *Psychometrika*, 27 125-139.

SIERRA MARTÍNEZ, M.A. (1986) *Análisis multivariable. Teoría y aplicaciones en economía*. Barcelona. Ediser.

SPENCE I. & OGILVE, J.C. (1973) "A table of expected stress values for random in Multidimensional Scalling". *Multivariate Behavioral Research*, 8, 511-518.

TORGERSON (1952) "Multidimensional Scalling: I. Theory and Method". *Psychometrika*, 17, 401-419.

TORGERSON (1958) *Theory and methods of scalling*. Londres. John Wiley.

YOUNG F. W. & LEWYCKY, R. (1979) *ALSCAL 4 User's guide*. (2ª De.) Unapel Hill, NC.: Data Analysis and Theory Associates.