

SOFTWARE, INSTRUMENTATION Y METODOLOGIA

MEDICION DE LA BORROSIDAD: MODALIDADES CRUZADAS

Ana Julia GARRIGA TRILLO* y Tricia DORN**

*Facultad de Psicología, UNED, Madrid.

**Department of Audiology and Speech Sciences, Purdue University, West Lafayette.

RESUMEN

Cuando los sujetos ejecutan tareas indirectas de estimación numérica sobre estímulos físicos, como en la técnica de modalidades cruzadas, las respuestas obtenidas indican una percepción borrosa de la realidad física. Un tipo de modelo que puede representar esta imprecisión es el conjunto borroso. Comenzando con la definición de conjunto borroso dada por Zadeh (1965), pretendemos en este trabajo obtener los valores característicos, o de pertenencia, necesarios para dotar a los datos obtenidos mediante modalidades cruzadas de una estructura de conjunto borroso. Un procedimiento semejante ha sido planteado en Garriga (1989a) para el método de estimación de magnitudes. Al igual que en el caso anterior este modelo podría utilizarse para estudiar el grado de inexactitud de las respuestas tanto intra como inter sujetos. También serviría para realizar comparaciones entre distintos métodos psicofísicos. Partiendo de estímulos auditivos los sujetos representan las magnitudes físicas utilizando distintas longitudes de segmentos. Estas magnitudes son ajustadas al modelo.

Palabras Clave: Conjuntos borrosos, psicofísica, modalidades cruzadas.

ABSTRACT

Measuring fuzziness: Cross Modality Matching. When subjects estimate physical intensities by indirect methods, as in cross modality matching, their responses show an imprecise perception of the physical world. Fuzzy set theory can represent this type of uncertainty. Starting with the definition of a fuzzy set given by Zadeh (1965) our goal in this work is to obtain a characteristic or membership function from cross modality matching data. A similar procedure has been used in Garriga (1989a) for magnitude estimation data. As in this case the modelization can be used to study between and within subjects responses and also to compare different psychophysical methods. Starting with auditory stimuli, observers represent physical magnitudes using line length estimation. These magnitudes are fitted to the model.

Key Words: Fuzzy sets, psychophysics, cross modality matching.

Aunque históricamente se fija el origen de la Teoría de los Conjuntos Borrosos (TCB) en el año 1965, con la publicación de Lofti Zadeh titulada "Fuzzy Sets", encontramos referencias al tema y desarrollos teóricos desde el 1911 (Mathesius, V., reeditado en 1964 por la "Indiana University Press"). Analizando la bibliografía publicada por Gaines y Kohout (1977) encontramos que el influjo de dicha teoría en la Psicología era extenso. Psicólogos como Osgood, Suci, Tannenbaum, Suppes, Tarski, Sheppard, Krantz y Luce aparecen en trabajos realizados desde 1954. En esa misma bibliografía más del 56% de los artículos clasificados como borrosos tratan sobre temas psicológicos incluyendo dentro de éstos la teoría de la decisión (Kochen, 1975), la evaluación subjetiva (God, 1962), la memoria (Kokawa, Nakamura y Oda, 1973), el aprendizaje (Sugeno y Terrano, 1976), el reconocimiento de patrones (Tamura, 1971), la inteligencia artificial y las máquinas que aprenden (Goguen, 1978), la lingüística y los lenguajes formales (Parett, 1974) y la medición (Krantz, Luce, Suppes y Tversky, 1971), sólo citando un artículo en cada tema.

Posteriormente, aparecen artículos reclamando la omnipotencia de la TCB mientras otros señalan la falta de aplicaciones de ésta a la vida real (Jain, 1980). Las ciencias humanas subsanan este vacío principalmente con aplicaciones en lingüística (Osherson y Smith, 1981; Zadeh, 1984; Hampton, 1988), en inteligencia artificial (Zadeh, 1984; Nutter, 1987; Ernsberger y Hoshiai, 1990) y en el reconocimiento de patrones (Montas, 1986). Sin embargo, dentro de la psicofísica, son pocos los intentos de modelizar utilizando la TCB. Ward (1979) la utiliza para explicar los efectos secuenciales en el juicio psicofísico y Marley y Cook (1986) la retoman para complementarla con el modelo de fijación de criterio de Treisman (1984). Gescheider (1988) resume los dos enfoques y concluye que hoy por hoy no existe un modelo explicativo

total. Partiendo de estos planteamientos hemos propuesto (Garriga, 1988, Garriga, 1989b), no hipotetizando sobre posibles procesos intermedios explicativos del juicio psicofísico, una estructura de conjunto borroso sobre las respuestas subjetivas obtenidas en experimentos psicofísicos de estimación de magnitudes. Nos proponemos en este trabajo darle una estructura semejante a los juicios obtenidos mediante el método de modalidades cruzadas utilizando para contrastar los resultados la modalidad auditiva cruzada con la estimación de longitudes. Esta estructura nos permitirá estudiar el grado de inexactitud de las respuestas tanto intra como inter sujetos y también comparar el método de modalidades cruzadas con el de estimación de magnitudes.

METODO

Sujetos

En este experimento participaron tres sujetos de 14, 15 y 16 años (dos mujeres y un hombre) de audición normal. Nunca habían participado en experimentos de discriminación auditiva.

Estímulos y Aparatos

Se presentaron diez estímulos estándar, siendo los primeros ocho de 22, 31, 40, 49, 58, 67, 76, 85 dB SPL (a intervalos de 9dB). Para tener diez estímulos se añadieron el 65 (por ser la intensidad aproximada del nivel normal de conversación) y el 42 (por razones simétricas). Todos fueron medidos en dB SPL. Se crearon una serie de entornos de siete estímulos alrededor de los estándar. Estos fueron:

- N1 (13, 16, 19, 22, 25, 28, 31);
- N2 (22, 25, 28, 31, 34, 37, 40);
- N3 (31, 34, 37, 40, 43, 46, 49);
- N4 (33, 36, 39, 42, 45, 48, 51);
- N5 (40, 43, 46, 49, 52, 55, 58);

N6 (49, 52, 55, 58, 61, 64, 67);
 N7 (56, 59, 62, 65, 68, 71, 74);
 N8 (58, 61, 64, 67, 70, 73, 76);
 N9 (67, 70, 73, 76, 79, 82, 85) y
 N10 (76, 79, 82, 85, 88, 91, 94).

La frecuencia se fijó en 1000 Hz. Un Hewlett Packard 3325A actuó de sintetizador/generador de funciones. Los tonos puros fueron generados por osciladores existiendo una atenuación para ajustar la intensidad. El atenuador pasaba la señal al oído derecho de los auriculares (MX- 41/AZ cushion). El sujeto se encontraba en una cámara aislada con doble pared de la "Industrial Acoustics Company". Cables B33B enviaban la señal a la cámara. Las instrucciones se recibían en una terminal "ADM Information Display". Para anotar las respuestas se utilizaron folios no rayados en los que se le pedía a los sujetos que trazasen la longitud que atribufan a los estímulos a evaluar.

Procedimiento

El experimento se realizó durante ocho días no consecutivos. Cada presentación del conjunto de siete estímulos, los asociados a un entorno, se comparaban con el estímulo estándar de su entorno y había diez conjuntos. Así cada día había que evaluar 70 estímulos y, en total, 560 estímulos por sujeto. Antes de comenzar el experimento se realizó un ensayo prueba para ver si se entendían las instrucciones y si se oían bien los sonidos. La sesión total tomaba entre 30 y 40 minutos.

Todas las sesiones tuvieron lugar en el Laboratorio de Psicoacústica del Departamento de Audiología y Ciencias del Lenguaje de la Universidad de Purdue (West Lafayette, USA). Cada sujeto se colocaba en la cámara doblemente aislada sentado frente al ordenador y rellenaba, en la hoja impresa, su nombre y la fecha. Se ponía los auriculares y pulsaba el botón rotulado "Comienzo". Las instrucciones aparecían en la pantalla y existía la posibi-

lidad de volver a repetir cualquier ensayo antes de trazar la recta que representase la magnitud del sonido acabado de oír. La duración de cada sonido fue de 200 mseg y el intervalo entre estímulos fue de 750 mseg. Las respuestas se recogían directamente en la hoja de respuestas y tanto la presentación de los estímulos, como su aleatorización (inter e intra entorno) y las instrucciones, venían dadas en el programa "Extended Basic" (Dorn, 1988). El sujeto tenía que oír primero el sonido estándar, luego se le daba su magnitud real y se le pedía que evaluase, utilizando un segmento de recta (se le daba una regla para que lo trazase), el segundo sonido que oyese.

RESULTADOS

Lo que se pretende es crear las funciones características que definirían el conjunto borroso de acuerdo a la definición de Zadeh (1965). El eje de las abscisas vendrá definido por las magnitudes físicas de los estímulos, E. Cada estímulo estándar forma el centro del entorno de otros seis estímulos distando de él hasta más o menos 9dB a intervalos de 3dB. Así, para cada sujeto y para cada día tendremos diez abscisas posibles. Cada entorno del estímulo estándar contiene siete estímulos y cada uno de ellos tiene asociado a él una longitud de un segmento. Medimos el cociente entre el número de inversiones que presentan estos segmentos en comparación con las magnitudes reales de los estímulos del entorno, sobre el número total de combinaciones de siete estímulos tomados de dos en dos. En los casos en que se eliminaron ensayos se dividía por el número de combinaciones de los N ensayos realizados tomados de dos en dos. A esta medida la designamos M y medirá el grado de correspondencia, a un nivel ordinal, entre el continuo físico y el subjetivo. Como eje de ordenadas utilizamos estas medidas M así definidas. Los resultados obtenidos por los tres sujetos en los ocho días fueron los siguientes:

E	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
22	.62	.62	.4	.4	.38	1	.67	.53
31	.67	.29	.27	.4	.4	.6	.81	.67
40	.14	.43	.5	.4	.27	.2	.5	.7
42	.52	.62	.5	.2	.33	.67	.6	.87
49	.48	.67	.5	.87	.62	.4	0	.83
58	.81	.43	.62	.8	.7	.6	.86	.71
65	.76	.86	.6	.6	.81	.71	.9	.67
67	.62	.86	.87	.47	.47	.5	.6	.86
76	.62	.52	.67	.8	.67	.81	.53	.81
85	.43	.71	.6	.67	.27	.67	.73	.86

Nota: E = centros de los entornos; Ml = cociente de las no inversiones, l = 1, 2, ..., 8.

Tabla 1. Resultados del Sujeto L en los ocho días.

E	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
22	.62	.38	.76	.86	.91	.91	.95	.91
31	.76	.48	.67	.71	.95	.81	.81	.91
40	.76	.81	.71	.81	.95	.81	.76	.91
42	.91	.86	.81	.71	.76	.81	.86	.95
49	.76	.86	.91	.91	.62	.86	.81	.81
58	.76	.71	.86	.81	.91	.76	.76	.91
65	.95	.91	.67	.76	.71	.95	.91	.95
67	.95	.86	.86	.81	.81	.81	.95	1
76	.91	.91	.91	.95	.86	.95	.91	.86
85	.91	.95	.86	.67	.95	.95	.95	.91

Nota: E = centros de los entornos; Ml = cociente de las no inversiones, l = 1, 2, ..., 8.

Tabla 1. Resultados del Sujeto I en los ocho días.

E	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
22	.76	.67	.29	.57	.57	.67	.76	.57
31	.62	.67	.24	.43	.52	.52	.57	.81
40	.67	.67	.62	.71	.57	.76	.81	.71
42	.71	.57	.43	.67	.29	.67	.71	.62
49	.81	.91	.52	.57	.81	.81	.67	.48
58	.81	.76	.71	.81	.81	.91	.86	.67
65	.91	.86	.81	.71	.91	.71	.57	.67
67	.76	.62	.81	.81	.48	.71	.57	.67
76	.86	.71	.81	.62	.81	.81	.76	.81
85	.91	.86	.57	.76	.95	.67	.81	.52

Nota: E = centros de los entornos; Ml = cociente de las no inversiones, l = 1, 2, ..., 8.

Tabla 1. Resultados del Sujeto I en los ocho días.

Con los elementos estimulares, EJ, $J = 1, \dots, 10$, y las medidas de borrosidad, MI, $I = 1, \dots, 8$, se pueden representar gráficamente las funciones características por sujeto y día. Podríamos así obtener 24 gráficas distintas. Estudiemos algunos ejemplos de comparaciones intra sujeto (Figura 1), inter método (Figura 4) e inter sujetos (Figuras 2 y 3).

Sobreponiendo las gráficas del Sujeto I para el día 1 y el 8 tenemos: (Figura 1)

Sobreponiendo las gráficas para el día 1 del Sujeto L y del Sujeto I tendríamos: (Figura 2)

Sobreponiendo las gráficas del Sujeto L y el Sujeto A para el día 5 tendremos: (Figura 3)

Conociendo los valores en la estimación de magnitudes para el sujeto A (los datos han sido tomados de nuestro trabajo, Garriga (1989a), sobre conjuntos borrosos) sobreponemos los gráficos de estimación de magni-

tudes y de modalidades cruzadas para dicho sujeto A en el día 3. Utilizamos para la estimación de magnitudes (EM) los siguientes valores, correspondientes a las magnitudes físicas en orden ascendente: 0.29, 0.52, 0.76, 0.71, 0.91, 0.91, 1., 0.91, 1., 0.86. (Figura 4)

DISCUSION

El Sujeto I parece ser el mejor detector de sonidos ya que, en general, su nivel de imprecisión es menor que el de los otros dos sujetos. Sus niveles de separación del mundo físico, a un nivel ordinal, son mínimos. Su percepción auditiva no es muy borrosa aun en el día 1. En el día 1 y en el 8 (Figura 1) sus ordenadas siempre quedan por encima de 0.6, aunque tanto en este sujeto como en los otros se observan diferencias en la respuestas a los mismos estímulos día a día. Comparando ambos días se nota una mejora en las res-

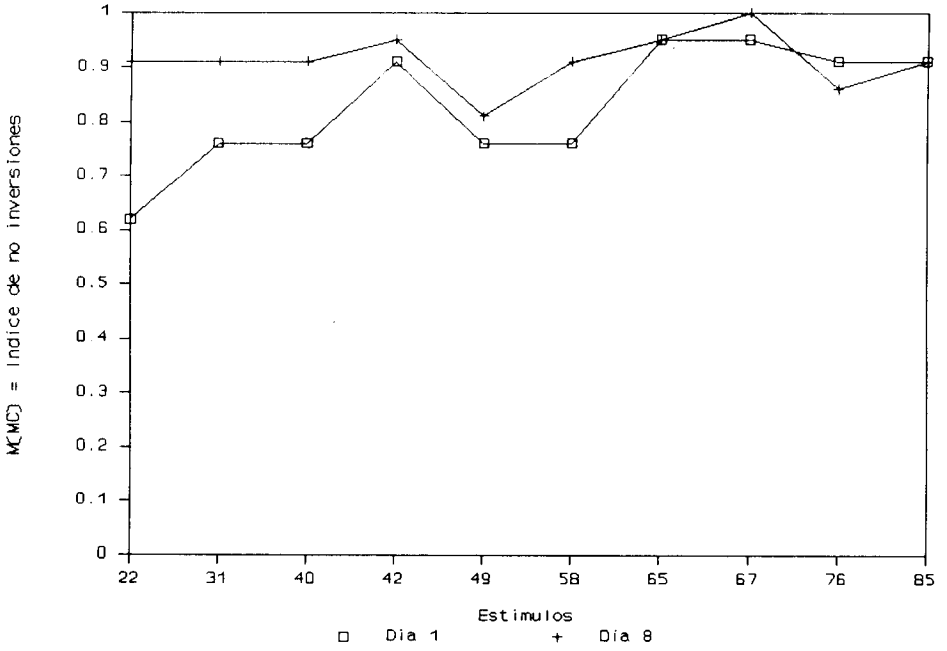


Figura 1. Funciones características para el sujeto I en los días uno y ocho.

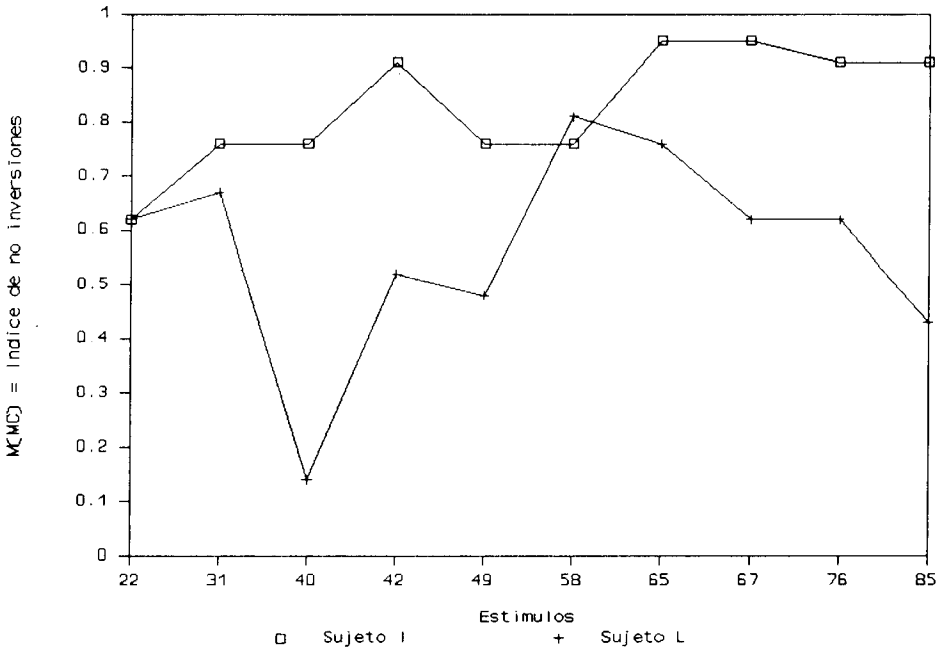


Figura 2. Funciones características para el sujeto I y el sujeto L en el día uno.

MEDICION DE LA BORROSIDAD: MODALIDADES CRUZADAS

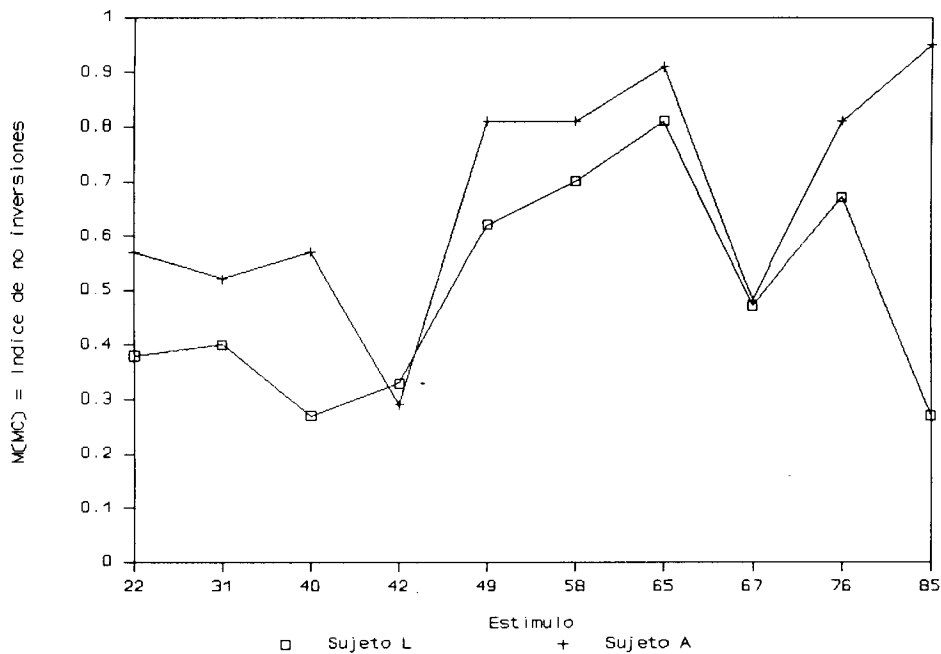


Figura 3. Funciones características para el sujeto L y el sujeto A en el día cinco.

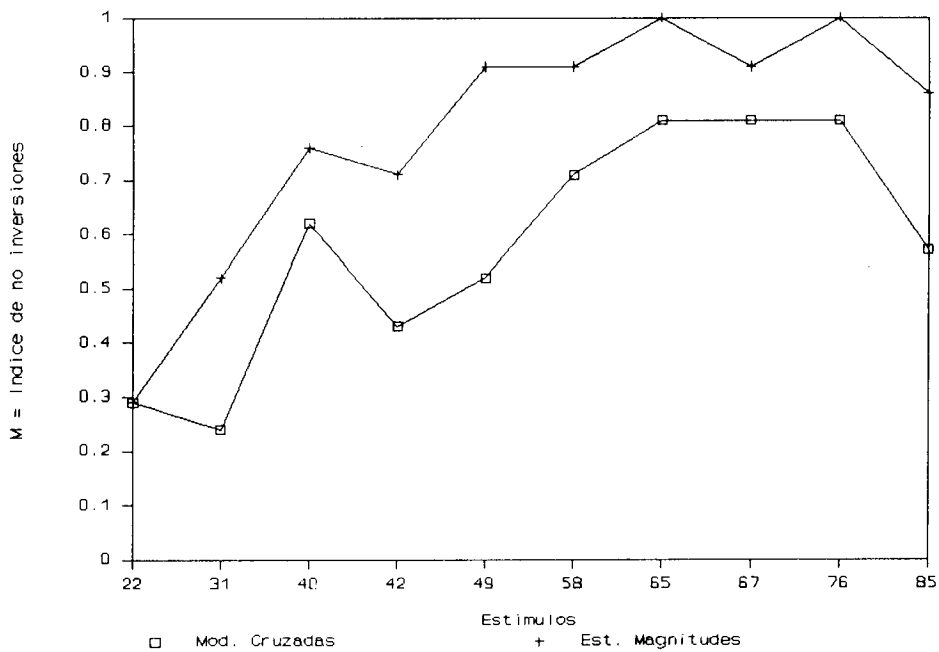


Figura 4. Funciones características para el sujeto Adía tres, utilizando las técnicas de modalidades cruzadas y de estimación de magnitudes.

puestas del día 8 posiblemente debido a los efectos del aprendizaje, sobre todo en los estímulos bajos. Ambas curvas son, generalmente, ascendentes con lo cual podríamos decir que a medida que aumenta la intensidad de un estímulo mejora su detección. El rango total de los valores de I va de 0.38 a 1. Sólo tiene dos valores por debajo de 0.5.

Comparando las curvas del primer día del Sujeto L y del Sujeto I (Figura 2) se ve claro la superioridad en la detección, en el día 1, del Sujeto I. Todos sus valores de M (menos uno) superan a los del Sujeto L. El rango total de los valores del sujeto L oscilan entre 0 y 1 pero tiene 22 valores por debajo de 0.5 (27.5%).

Comparando la curva del Sujeto A con la del Sujeto L en el día 5 también notamos que A es mejor que L (Figura 3). A excepción de un valor, A obtiene valores de M más altos que los obtenidos por L en ese día. Si comparásemos con el sujeto I en ese mismo día notaríamos que I obtiene (menos en tres casos de los diez) puntuaciones más altas que A.

Teniendo los resultados del sujeto A, en el día 3, para el método de estimación de magnitudes, podemos observar que el método de modalidades cruzadas es más borroso o ruidoso que el de estimación de magnitudes (Figura 4). Así podríamos afirmar que el pedir a un sujeto que utilice una cuantificación numérica directa es más "entendible" que el pedirle que represente geométricamente lo que él acaba de oír. Es decir, para pasar del campo de la sensación al de la cuantificación es más preciso usar números para esta representación del mundo físico que el utilizar conceptos geométricos como sería el trazar un segmento representativo de la magnitud física. Convendría pensar que el método de modalidades cruzadas no es tan

válido como el de estimación de magnitudes pues introduce más imprecisión o borrosidad en los juicios subjetivos sobre fenómenos físicos. El método de estimación de magnitudes introduce menos deformación por lo que apoyamos su utilización como también sugieren Grossberg y Grant (1978) para la clínica y Gescheider (1985) para el escalamiento general tanto de estímulos sensoriales como de no sensoriales.

Resumiendo nuestros resultados encontramos que: 1º ninguno de nuestros sujetos tiene una percepción auditiva muy borrosa. 2º los sujetos parecen aprender a cuantificar mejor sus respuestas: en general, sus representaciones geométricas de los estímulos en el día ocho son mejores que las del día uno. 3º el sujeto I representa mejor su percepción auditiva que los sujetos A y L. El sujeto A también representa mejor que el sujeto L. 4º el método de estimación de magnitudes es mejor instrumento de representar la realidad auditiva de estos sujetos que el método de modalidades cruzadas.

Sin embargo, para validar nuestros hallazgos, convendría contrastar estos resultados con los obtenidos en otras modalidades sensoriales y utilizar además otras metodologías distintas de la de los conjuntos borrosos para medir la incertidumbre.

Agradecimientos:

Queremos agradecer a la profesora Clewis Long del Departamento de "Audiology and Speech Sciences" de la Universidad de Pardue, West Lafayette, Indiana, el dejarnos usar desinteresadamente su laboratorio de Psicoacústica.

REFERENCIAS

- Dorn, T. (1988). *Extended Basic* (Programa de ordenador). West Lafayette, Indiana: Purdue University (Trabajo de curso no publicado y localizable en : A. J. Garriga, Facultad de Psicología, UNED, 28040 Madrid).
- Ernsberger, R. y Hoshiai, Y. (1990). Computers With Human Logic. *Newsweek*, 2 de Abril, 53.
- Gaines, B. R. y Kohout, L. J. (1977). The Fuzzy Decade: A Bibliography of Fuzzy Systems and Closely Related Topics. *International Journal of Man-Machine Studies*, 9, 1-68.
- Garriga, A. (1988, Agosto). *A Fuzzy Set Approach to Psychophysical Data*. Ponencia presentada en el Twenty First Meeting of the Society for Mathematical Psychology, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA.
- Garriga, A. (1989a). A Fuzzy Set Model for Magnitude Estimation Data (Abstract). *Proceedings of the Twentieth Meeting of the European Mathematical Psychology Group*, 40.
- Garriga, A. (1989b, Octubre). *A Fuzzy Option for Magnitude Estimation Data*. Poster presentado en el Fifth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics, Casis, Francia.
- Gescheider, G. (1985). *Psychophysics: Method, Theory and Application*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gescheider, G. (1988). Psychophysical Scaling. *Annual Review of Psychology*, 39, 169-200.
- God, I. J. (1962). Subjective Probability as a Measure of a Non-Measurable Set. En E. Nagel, P. Suppes, y A. Tarski. (Eds.). *Logic, Methodology and Philosophy of Science* (pp 319-329). California: Stanford University Press.
- Goguen, J. A. (1976). Robust Programming Languages and the Principle of Maximal Meaningfulness. *Milwaukee Symposium on Automatic Computation and Control*, 87 - 120.
- Grossberg, J. M. y Grant, B. F. (1978). Clinical Psychophysics: Applications of Ratio Scaling and Signal Detection Methods to Research on Pain, Fear, Drugs and Medical Decision Making. *Psychological Bulletin*, 85, 5, 1154-1176.
- Hampton, J. A. (1988). Overextension of Conjunctive Concepts: Evidence for a Unitary Model Concept, Typicality and Class Inclusion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 14 (1), 12-32.
- Jain, R. (1980). Fuzzyism and Real World Problems. En P. P. Wang y S. K. Chang (Eds). *Fuzzy Set: Theory and Applications to Policy Analysis and Information Systems*. (pp 129-132). New York: Plenum Press.
- Kochen, M. (1975). Applications of Fuzzy Sets in Psychology. En L. A. Zadeh, K. S. Fu, K. Tanaka y M. Shimura. (Eds). *Fuzzy Sets and Their Application to Cognitive and Decision Processes* (pp.395-408). New York: Academic Press, 395-408.
- Kokawa, M., Nakamura, K. y Oda, M. (1973). Fuzzy Expression of Human Experience-to-Memory Processes. *Research Reports of Automatic Control laboratory*, 20, Nagoya University, Japan: Automatic Control laboratory, 27-33.
- Krantz, D. H., Luce, R. D., Suppes, P. y Tversky, A. (1971). *Foundations of Measurement*. New York: Academic Press.
- Marley, A. y Cook, V. (1986). A Limited Capacity Rehearsal Model for Psychophysical Judgements Applied to Magnitude Estimation. *Journal of Mathematical Psychology*, 30, 339-390.
- Mathesius, V. (1964). *On the Potentiality of the Phenomena of Language*. Traducción inglesa en "The Prague School Reader in Linguistics". Vachek, J. (Ed.). 1964. Bloomington, Indiana: Indiana University Press. (Orig. 1911).
- Montas, J. (1986). Character Recognition by Means of Fuzzy Set Reasoning. En A. Jones (Ed.), *Fuzzy Sets Theory and Applications* (pp.301-304). Holland: D. Reidel Publishing Company.

- Nutter, J. T. (1987). Reasoning, Default. En S. C. Shapiro (Ed.), *Encyclopedia of Artificial Intelligence* (pp. 845-847). New York: Wiley and Sons.
- Osherson, D. N. y Smith, E. E. (1981). On the Adequacy of Prototype Theory as a Theory of Concepts. *Cognition*, 11, 35-58.
- Parret, H. (1974). *Discussing Language*. The Hague: Mouton.
- Sugeno, M. y Terano, T. (1976). A Model Learning Based on Fuzzy Information. *Third European Meeting of Cybernetic System Research*, Viena, Austria.
- Tamura, S. (1971). Fuzzy Pattern Classification. *Proceedings of a Symposium on Fuzziness in systems and its Processing*. Professional Group of System Engineering of SICE.
- Treisman, M. (1984). A Theory Criterion Setting: An Alternative to the Attention Band and Response Ratio Hypothesis in Magnitude Estimation and Cross Modality Matching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 443-463.
- Ward, L. M. (1979). Stimulus Information and Sequential Dependencies in Magnitude Estimation and Cross Modality Matching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5 (3), 444-459.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zadeh, L. A. (1987). Coping With the Imprecision of the Real World: An Interview With Lofti A. Zadeh. En R. R. Yager, S. Ovchinnikov, R. M. Tong, y H. T. Nguyen (Ed.) *Fuzzy Sets and Applications* (pp. 9-28). New York: John Wiley and Sons.