

# La métrica Fuzzy para relacionar la distancia real y la distancia aparente

J. Ramis<sup>a</sup>, J. Redondo<sup>a</sup>, C. Solano<sup>a</sup>, J. Martinez Vizquete<sup>a</sup> y V. Estruch<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Dispositivos y Sistemas Acústicos y Ópticos, DISAO. Escuela Politécnica Superior de Gandía. Carretera Nazaret-Oliva S/N, Grao de Gandia 46730 (Valencia) España. jramis@fis.upv.es

<sup>b</sup> Departamento de Matemática Aplicada. Escuela Politécnica Superior de Gandía. Carretera Nazaret-Oliva S/N, Grao de Gandia 46730 (Valencia) España

**RESUMEN:** En este trabajo se aplican modelos de Distancia Fuzzy para relacionar la distancia real de una fuente sonora con la percibida. Estos modelos nos permitirán, a partir de un valor de la relación entre campo directo y reverberante, comparar directamente la distancia real y la aparente.

En la fase experimental empleamos un maniquí para obtener la respuesta binaural del sistema. La fuente se desplaza en el plano medio (elevación cero) de forma radial, sobre distintos ejes situados a 0, 15, 30 y 45 grados respecto al frente del maniquí. En cada uno de los ejes tomamos diez medidas comprendidas entre 0.7 y 16 m. La respuesta binaural, obtenida mediante secuencias MLS, se emplea para determinar la relación entre sonido directo y reverberante y sirve, a su vez, para la posterior evaluación subjetiva de la percepción de distancia aparente.

**ABSTRACT:** In this work, fuzzy distance models are applied in order to find the relationship between real distance and the perceived one. These models will allow us, beginning from a direct to reverberant ratio, to compare directly the real distance and the perceived one.

During the experimental stage we use a dummy head in order to obtain the binaural response of the system. The source is displaced in the mean plane (zero elevation) in a radial way, over several axis placed at 0, 15, 30 and 45 degrees with respect to the dummy head. In each of the axis we take ten measurements between 0.7 and 16 m. The binaural response, obtain by means of a MLS sequence, is used to obtain the direct to reverberant ratio, and it is used as well for a subsequent subjective evaluation of the apparent distance.

## 1. INTRODUCCION Y PLANTEAMIENTO

Los sistemas basados en la Lógica Borrosa se establecen a partir de proposiciones imprecisas que relacionan magnitudes y valores modelados mediante conjuntos borrosos. El elemento primario de la Lógica Borrosa es el Lenguaje Natural, y sus esquemas de razonamiento son esquemas de "razonamiento aproximado" con proposiciones imprecisas, como suelen ser las reglas que se obtienen a partir de la expresión lingüística. La Teoría de Conjuntos Borrosos, encuentra sus aplicaciones más importantes en sistemas complejos que operan de forma no lineal así como en la modelización de comportamientos que responden a determinadas pautas pero con carácter difícilmente previsible, como sucede en el estudio de la percepción humana

de los estímulos y más concretamente en el ámbito de la psicoacústica. El lector interesado puede consultar las referencias [1] y [2].

La percepción de distancia, ha sido abordada en diferentes estudios. Valga como referencia el de Nielsen [3] en el que se describe un experimento psicoacústico para obtener una relación entre la distancia real y la percibida. Otros autores vienen profundizando en el problema y en sus implicaciones [4-7].

En este trabajo se propone un cambio en la forma de plantear este problema. Hay que tener en cuenta que:

1. El imprescindible experimento psicoacústico para evaluar la relación entre distancia real y distancia aparente requiere la disponibilidad de individuos con la suficiente percepción métrica del espacio por lo que siempre resulta interesante establecer modelos que permitan predecir las respuestas subjetivas a partir de mediciones de parámetros objetivos
2. Estamos acostumbrados a evaluar la distancia “lingüísticamente”, mediante adverbios de lugar, que tienen la ventaja de establecer como punto de referencia a los interlocutores del discurso como cerca, lejos, aquí, allí, arriba, abajo, fuera, alrededor, allá, ahí.

El punto 1 implica la necesidad de un test previo para disponer de una estimación de la distancia percibida en las salas que serán consideradas utilizando la teoría Fuzzy.

Por otra parte, el punto 2 sugiere la posibilidad de trabajar con adverbios en lugar de distancias absolutas (aquí, ahí, allá). La métrica Fuzzy nos proporciona la herramienta necesaria para manejar este tipo de información imprecisa para finalmente, y a partir de ella, establecer un modelo que describa la situación relativa de la fuente respecto del receptor.

El punto de partida, tanto en este caso como en cualquier estudio mediante la teoría de conjuntos borrosos, consiste en establecer un conjunto de postulados (funciones de pertenencia). En nuestro caso particular se propone la siguiente categorización de distancias:

- Si la distancia es pequeña, entonces la fuente está AQUÍ.
- Si la distancia es intermedia, entonces la fuente está AHÍ.
- Si la distancia es grande, entonces la fuente está ALLÍ.

Estos enunciados permiten establecer formas o tendencias aproximadas de las funciones de pertenencia (véase figura 1).

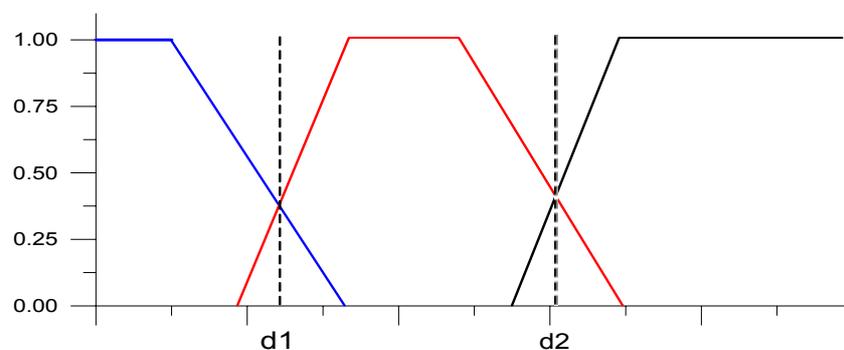


Figura 1 – Funciones de pertenencia AQUÍ (azul), AHÍ (rojo) y ALLÍ (negro)

No obstante, los valores límites de la figura 1 dependerán de las características de la sala. Para determinarlos sería necesario realizar un experimento psicoacústico y establecer hipótesis de partida para los valores límite que definirían los conjuntos Fuzzy.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Descripción de las salas escogidas

En esta sección se ilustran las características de las salas consideradas que han sido cuatro. Al seleccionar las diferentes salas se ha intentado que la variación de volumen sea tan amplia como sea posible. El objetivo no es otro que el de ampliar el abanico de posibilidades, pero siempre trabajando en entornos relativamente grandes como para que los eventos sonoros presentados a la audiencia (correspondientes a las diferentes distancias consideradas) produzcan sensaciones sonoras bien diferentes. No obstante en ningún caso se han considerado salas especialmente reverberantes que quedarían fuera del ámbito de interés y de los objetivos marcados en este trabajo.

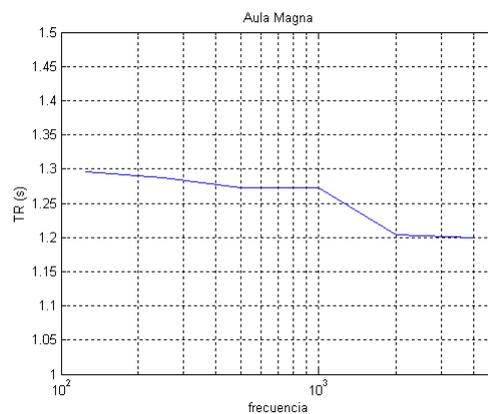


Figura 2 –a) Salón de actos de la E.P.S. Gandia b) Curva tonal

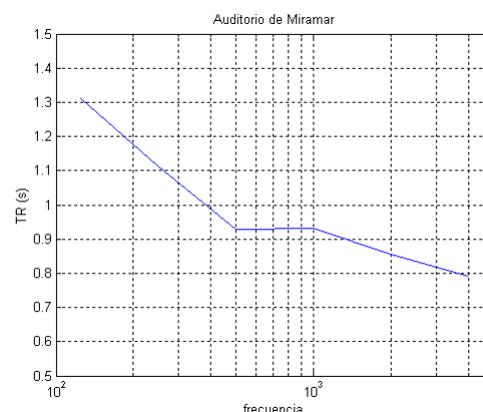


Figura 3 –a) Auditorio de Miramar b) Curva tonal

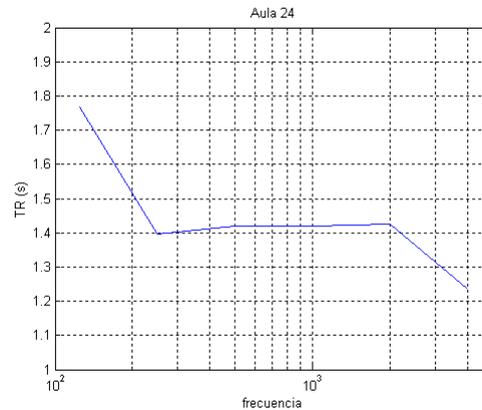


Figura 4 –a) Aula 9 de la E.P.S. Gandia b) Curva tonal

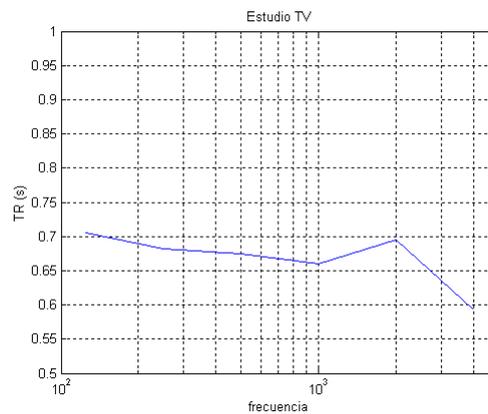


Figura 5 –a) Estudio de Televisión de la EPSG b) Curva tonal

## 2.2 Configuración de medida utilizada y detalles del proceso

Para realizar la medida de la respuesta binaural de cada uno de los auditorios (*BRIRs* – *Binaural Room Impulse Responses*) hemos empleado un PC equipado con software específico para el procesado de señal. El ordenador realiza la gestión de datos de entrada y salida empleando un tren de secuencias pseudo aleatorias como señal de prueba. El registro de la señal, se realizó mediante un maniquí acústico (HATS “*Head and torso acoustic simulator*”). El auditorio es excitado a través de una fuente sonora con la señal de prueba. De forma simultanea, capturamos la respuesta estéreo del canal -oído derecho e izquierdo- y la procesamos para obtener la respuesta al impulso del sistema. Este proceso se repitió para distintas posiciones del receptor en cada uno de los recintos considerados. La distancia entre el maniquí y la fuente sonora varía de forma gradual desde 0.5 m hasta un máximo que depende de la sala en cuestión.

### 3. EXPERIMENTOS PSICOACÚSTICOS

#### 3.1. Experimento psicoacústico previo

Con el propósito de obtener información sobre la percepción sonora de distancia en las diferentes salas consideradas, se han presentado a la audiencia sucesos sonoros a través de auriculares al tiempo que se realiza una encuesta. Los eventos sonoros que se presentan a cada individuo se obtienen convolucionando la respuesta al impulso binaural medida en cada uno de los puntos de las dos salas consideradas con una grabación anecoica. De este modo se ha recreado un campo sonoro virtual que sugiere diferentes sensaciones de proximidad de la fuente sonora (en este caso vocal) en función de la distancia original existente entre el maniquí y la fuente sonora (auralización).

Las señales de voz procesadas se han reproducido aleatoriamente, disminuyendo el efecto de aprendizaje por parte de los sujetos que han intervenido en la experiencia. En la figura se presenta la pantalla principal del software desarrollado a tal efecto.



Figura 6 – Pantalla principal del software utilizado

Los resultados obtenidos para dos de las salas (véanse figuras 2 y 3) se presentan en las figuras 7 y 8. Puede observarse que los resultados son similares.

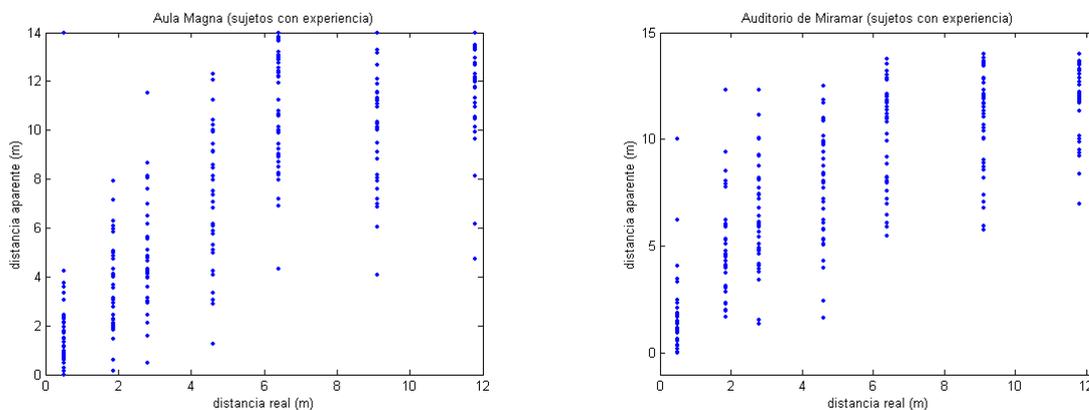


Figura 7 – Distancia aparente vs distancia real en dos de las salas consideradas

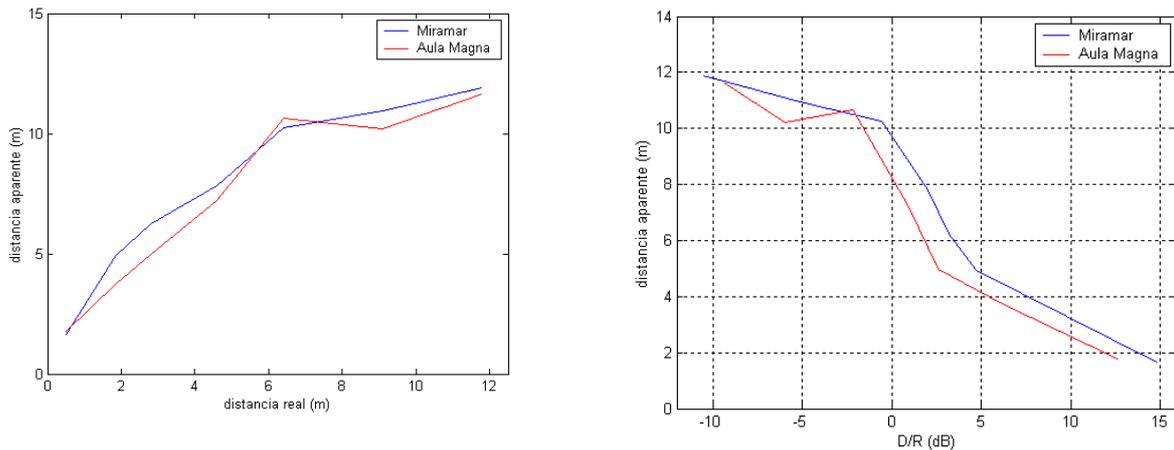


Figura 8 – Izquierda: Valores promedio de las distancias aparentes vs distancia real en dos de las salas consideradas. Derecha: Distancia aparente vs relación sonido directo-reverberado (en dB) en las mismas salas.

### 3.2. Experimento psicoacústico sobre planos sonoros

Como segundo paso se está realizando una encuesta psicoacústica con el propósito de obtener las funciones de pertenencia descritas anteriormente. La aplicación desarrollada en este caso, similar a la anterior, presenta una serie de eventos sonoros pero en este caso se pide al encuestado que *categorice* la distancia. Con el fin de evitar dificultades de traducción que pudieran introducir ambigüedad o equivoco en la divulgación de los resultados en revistas de ámbito internacional se ha decidido sustituir las etiquetas lingüísticas de las categorías AQUÍ, AHÍ y ALLÍ por iconos relativos a los planos sonoros PRIMER PLANO, PLANO MEDIO y PLANO GENERAL respectivamente. Otra ventaja de utilizar estos iconos es que, al hacer referencia a nomenclatura conocida es más sencillo realizar la encuesta. La figura 9 ilustra la pantalla principal de la aplicación desarrollada.

El encuestado selecciona la sala (en este caso el Aula Magna), la orientación del maniquí acústico durante la grabación (en este caso 0°), escucha el evento sonoro registrado tantas veces como quiera y, finalmente, selecciona el icono correspondiente a la imagen sonora sugerida. Al igual que en el experimento anterior, los eventos sonoros se presentan desordenadamente, de forma que el encuestado no prefije su decisión.

Tanto en este experimento como en el anterior se ha cuidado de presentar a la audiencia eventos sonoros idénticos, por lo que se realizaba un calibrado para garantizar que el nivel sonoro que llegaba a cada uno de los oyentes era el mismo.



Figura 9 – Pantalla principal del software utilizado para la segunda encuesta

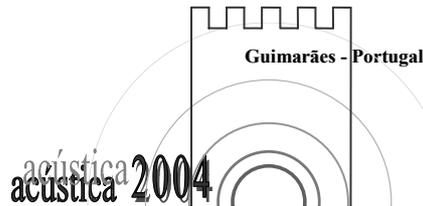
#### 4. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

A partir de las funciones de pertenencia que la segunda encuesta será posible establecer un proceso de “defuzzificación” a partir del cual se obtendría el valor aproximado o cotas superiores de la distancia a la que se encuentra un objeto sonoro emitido en un campo reverberante cuando la imagen sonora que provoca en el oyente es la plano general, plano medio o primer plano. No obstante, entendemos que el número de salas consideradas es relativamente pequeño como para obtener valores fiables y/o extrapolables a otras situaciones. Como se ha indicado más arriba, el resultado de este experimento es el que servirá de base para proponer las funciones de pertenencia. Una segunda posibilidad de análisis de los datos consistiría en la propuesta de una *función distancia* o *métrica Fuzzy*. Una métrica Fuzzy no es otra cosa que una magnitud que indica el grado de proximidad tomando el valor 1 en caso de coincidencia y tomando el valor 0 en el caso de máxima lejanía. Una de las funciones más utilizadas para definir métricas Fuzzy ([1] y [2]) particularizada a nuestro caso sería:

$$(\text{Distancia Fuzzy}) = \frac{K}{K + (\text{Distancia Real})}; K > 0 \quad (1)$$

#### 5. CONCLUSIONES

Se ha propuesto una metodología que necesita ser refinada considerando un mayor número de ambientes sonoros y cambios de orientación. Además, el establecimiento de índices a partir de modelos Fuzzy, atendiendo a los datos recopilados en encuestas, para cuantificar la



relación entre la “distancia subjetiva” y la “distancia aparente” implica, inevitablemente que, una vez propuesta la métrica, se evalúe en un considerable número de casos y se propongan las correcciones pertinentes. Este será uno de los objetivos de futuros trabajos.

## REFERENCIAS

- [1] A. George, P.V. Veeramani, “On some results in Fuzzy Metric Spaces”, Fuzzy Sets and Systems, 64, pp. 395- 399, 1994.
- [2] A. George, P.V. Veeramani, “On some results of analysis for Fuzzy Metric Spaces”, Fuzzy Sets and Systems, 904, pp. 365- 368, 1997
- [3] S. H. Nielsen, “Auditory Distance Perception in different rooms”, JAES, Vol. 41, pp.755-770, 1993
- [4] P. Zahorik, “Distance localization using nonindividualized head-related transfer functions”, JASA, Vol. 108, pp.2597, 2000.
- [5] P. Zahorik, “Direct-to-reverberant energy ratio sensitivity”, JASA, Vol. 112, pp.2110-2117, 2002.
- [6] M. Vorländer, E. Abou-Elleal, Simultaneous visual and acoustical perception in room acoustics”, Tecniacústica 2003, Bilbao, Spain.
- [7] P. Zahorik, “Auditory display of sound source distance”, Proceedings of the 2002 International Conference on Auditory Display, Kyoto, Japan, July 2-5, 2002.