

## XV Congreso Argentino de Acústica, AdAA 2017

Bahía Blanca, 23 y 24 de noviembre de 2017

AdAA2017-15

### El contexto auditivo afecta la percepción visual de distancia

Ramiro Vergara<sup>(a)</sup>, Pablo Etchemendy<sup>(a)</sup>, Ezequiel Abregú<sup>(a)</sup>,  
Manuel C. Eguía<sup>(a)</sup>, Esteban R. Calcagno<sup>(a)</sup>, Nilda Vechiatti<sup>(b)</sup>, Federico Iasi<sup>(b)</sup>

(a) Laboratorio de Acústica y Percepción Sonora, Departamento de Ciencias Sociales, CONICET, Universidad Nacional de Quilmes, B1876BXD, Bernal, Bs. As., Argentina. ramirovergara@lapso.org

(b) Laboratorio de Acústica y Luminotecnia. Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Bs. As. Cno. Centenario e/ 505 y 508, M. B. Gonnet, Bs. As., Argentina

#### Abstract

In this paper, we will show that the auditory environmental context (through reverberation related cues) affect the visual perception of distance (PVD). We conducted two PVD experiments in two dark rooms with extremely different reverberation times: an anechoic chamber and a reverberating room. The subjects assigned to the latter perceived the objectives farther than the subjects assigned to former. In addition, we found a positive correlation between the maximum distance perceived and the size of the room perceived through the auditory modality. In a second experiment, the same subjects of Experiment 1 were exchanged between rooms. We found that the subjects retained the responses of the previous experiment as long as they were compatible with the current perception of the environment; if not, the perceived distance was biased towards the auditory perceived limits of the room. The results of both experiments show that the auditory environment influences PVD.

#### Resumen

En esta ponencia, mostraremos que el contexto ambiental auditivo (a través de indicios relacionados con la reverberación) afectan la percepción visual de distancia (PVD). Realizamos dos experimentos de PVD en dos salas oscuras con tiempos de reverberación extremadamente diferentes: una cámara anecoica y una sala reverberante. Los sujetos asignados a la sala reverberante percibieron los objetivos más lejos que los sujetos asignados a la cámara anecoica. Además, encontramos una correlación positiva entre la distancia máxima percibida y el tamaño de la sala percibido auditivamente. En un segundo experimento, los mismos sujetos del Experimento 1 se intercambiaron entre salas. Encontramos que los sujetos conservaron las respuestas del experimento anterior siempre que fueran compatibles con la percepción actual del entorno; si no, la distancia percibida estaba sesgada hacia los límites auditivamente percibidos de la habitación. Los resultados de ambos experimentos muestran que el entorno auditivo influye sobre la PVD.

## 1 Introducción

Para obtener una imagen coherente del mundo, nuestro cerebro debe procesar información proveniente de diferentes modalidades sensoriales. La interacción multisensorial permite la mejora en la detección de estímulos de diferente naturaleza. Se sabe que en este tipo de interacción la modalidad que tiene mas precisión suele dominar sobre la menos precisa. Por ejemplo, en tareas de localización, la modalidad visual es mas precisa que la auditiva y por ende tiende a dominar sobre esta. Sin embargo, en tareas que requieren precisión temporal, donde la modalidad auditiva es muy precisa sucede lo contrario y la audición domina sobre el sentido de la vista (ver King (2009) para una revisión reciente).

En cuanto a la percepción de distancia, la capacidad de los humanos para percibir distancias utilizando la modalidad visual es más precisa y presenta menor variabilidad que mediante la modalidad auditiva. Sin embargo, es importante mencionar que la Percepción Visual de Distancia (PVD) es precisa solamente cuando múltiples pistas visuales están disponibles durante la tarea (Loomis et al., 1992) ya que, cuando el objeto visual es presentado en la oscuridad, la precisión en una tarea de PVD es muy similar a la reportada en experimentos de Percepción Auditiva de Distancia (PAD): la distancia es sobres-timada cuando el objetivo se encuentra en el campo cercano mientras que es subestimada para distancias mayores a 3 metros.

Resultados obtenidos en nuestro laboratorio (Calcagno et al., 2012) muestran que el sesgo típico observado en las curvas psicofísicas de PAD es revertido significativamente si se utilizan pistas visuales de referencia durante el experimento. Los resultados de este estudio sugieren que el papel de las claves visuales es proveerle al participante información relacionada con el tamaño del recinto donde suceden los acontecimientos.

Fenómenos similares ocurren con pistas auditivas relacionadas con el tamaño de un recinto. En esta línea, Cabrera et al. (2006) han sugerido que la PAD y la percepción auditiva del tamaño de una sala pueden estar relacionadas directamente por una pista común: la reverberación. La reverberación contiene información importante que nos permite percibir diversas características de un ambiente. Estudios anteriores han demostrado que el tiempo de reverberación influye significativamente sobre la percepción del tamaño de un recinto (Sandvad, 1999; Mershon et al., 1989; Hameed et al., 2004; Sanchez-Perez et al., 1998) Aunque muchos factores contribuyen al valor del tiempo de reverberación (por ejemplo, tamaño de la sala, materiales de las paredes, muebles, etc), en ausencia de otro tipo de información, el cerebro interpreta el tiempo de reverberación en relación directa con el tamaño del recinto: mayor tiempo de reverberación se asocia consistentemente con habitaciones más grandes (Sandvad, 1999; Hameed et al., 2004).

Como vimos previamente, en ausencia de pistas visuales de referencia, la PVD tiene sesgos similares a los reportados en PAD. Tal vez la presencia de claves visuales mejore la respuesta en ambas modalidades a través de información similar: información relacionada con el tamaño del recinto donde suceden los acontecimientos.

Estudios recientes sugieren que la PVD no solo depende de la disponibilidad y fiabilidad de los indicios de profundidad, sino que también es influida por el contexto ambiental y variables personales. Por ejemplo, resultados de Lappin et al (2006) mostraron que la precisión en experimentos de PVD fue diferente en tres tipos de entornos (hall de entrada, pasillo, y patio abierto de césped), aunque en todos ellos los participantes disponían de numerosos indicios de PVD.

Teniendo en cuenta estos antecedentes y la influencia que tiene la reverberación en la percepción de las características de un recinto nos preguntamos si, en entornos con escasos

indicios visuales (por ejemplo una habitación a oscuras), la información auditiva relacionada con el tamaño de la sala puede influir sobre la PVD.

El objetivo de este trabajo es intentar responder a esta pregunta mediante experimentos psicofísicos de PVD realizados a oscuras en dos salas con tiempos de reverberación muy diferentes: una cámara anecoica y una sala reverberante.

## 2 Métodos

Los experimentos fueron realizados en dos habitaciones con tiempos de reverberación muy diferentes (Fig. 1): (A) una cámara anecoica y (B) una sala reverberante (T60 cercano a los 8 segundos para una banda de ruido de un tercio de octava centrada a 1 kHz).

Un total de setenta y cinco voluntarios (19 mujeres y 56 hombres) participaron en los experimentos. Ninguno tenía conocimiento previo de las salas ni del setup experimental. Cada participante fue llevado a la sala experimental con los ojos vendados. Una vez ubicado en la posición cero las luces fueron apagadas quedando la sala completamente a oscuras permaneciendo así durante todo el experimento. Antes de comenzar el experimento se le indicó al participante que se quite la venda de los ojos con el fin de que pueda ver las claves visuales utilizadas durante el experimento.

Los estímulos visuales fueron cuadrados de acrílico de 5 cm x 5 cm que contaban con un sistema de LEDs que permitía iluminarlos de manera individual durante el experimento. Los estímulos fueron ubicados frente al participante (acimut 0°, elevación 0°) a una altura de 1,50 m. Antes de entrar en la sala, se les mostró a los participantes un modelo idéntico del estímulo visual utilizado en la tarea para que tengan un conocimiento previo del mismo.

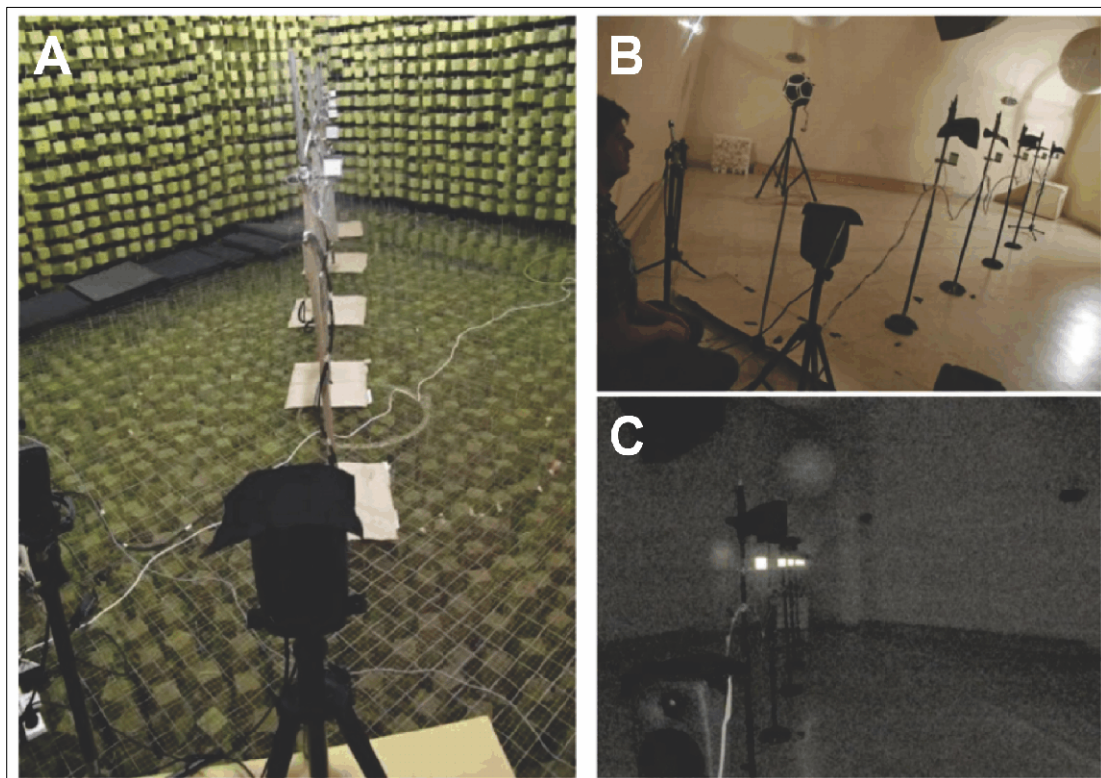
El montaje experimental consistió en un arreglo lineal de 5 estímulos visuales, situados a 2 m, 3 m, 4 m, 5 m y 6 m de la posición del sujeto (Fig. 1A, B y C). Cada estímulo fue montado sobre un soporte de metal. Para evitar la oclusión visual entre estímulos se utilizaron servomotores para girar los objetivos fuera de la línea de visión del participante.

Los participantes fueron asignados aleatoriamente a dos grupos. Los sujetos del grupo 1, realizaron el experimento en la cámara anecoica y los del Grupo 2 lo hicieron en la sala reverberante. Con el fin de exponer al sujeto a las características acústicas de las habitaciones, una grabación con las instrucciones del experimento fue reproducida desde un parlante ubicado a 70 cm frente al oyente a una altura de 1 m. Antes de cada ensayo, se reprodujo, a través del mismo parlante, un pulso de ruido blanco (500 ms de duración) con el fin de enmascarar el sonido de los servomotores. Después de cada presentación, se les pidió a los participantes expresar verbalmente la distancia aparente del objetivo visual. Cada estímulo visual se presentó cinco veces para cada distancia de prueba (25 ensayos en total) en orden aleatorio. Los participantes realizaron sólo una respuesta verbal por ensayo y no recibieron información respecto a la precisión de sus respuestas. Sólo un estímulo visual fue iluminado durante cada ensayo.

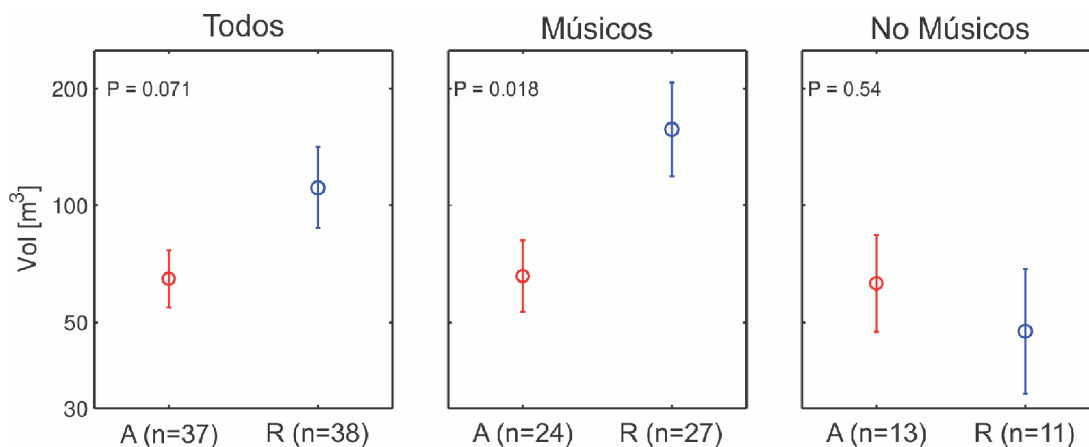
Al finalizar el experimento se pidió a los sujetos que estimaran (aún en oscuridad completa) la longitud, ancho y altura de la sala donde se llevó a cabo el experimento.

## 3 Resultados

En la Fig.2 se muestra la comparación entre los volúmenes percibidos de las salas anecoica (A) y reverberante (R). Los círculos abiertos indican la media de la respuesta de los sujetos (las barras indican +/- error estándar). Las diferencias en el volumen percibido fueron evaluadas mediante un t-test de dos muestras independientes realizado sobre el logaritmo de la respuesta. El valor de P de la comparación entre el volumen percibido de ambas habitaciones se presenta en el cuadrante superior derecho de cada panel.



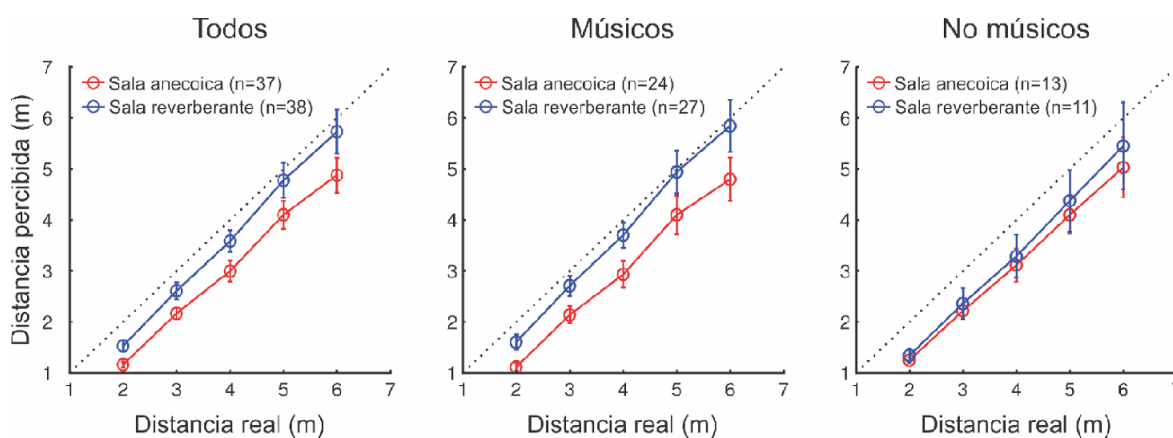
**Figura 1:** A- Imagen de la cámara anecoica y setup experimental desde la posición del sujeto. B- Imagen del sujeto experimental y el setup en la sala reverberante. C- Imagen del setup con todos los estímulos encendidos.



**Figura 2:** comparación entre los volúmenes percibidos por los participantes en las salas anecoica (A) y reverberante (R). Panel izquierdo: todos los sujetos. Panel central: músicos. Panel derecho: no-músicos. Los datos se indican como la media +/- error estándar. El valor de P de la comparación de volumen entre las habitaciones se presenta en la parte superior izquierda de cada panel.

La respuesta promedio de todos los participantes muestra una tendencia que indica que la sala reverberante fue percibida de un volumen mayor que la sala anecoica. Sin embargo, esta tendencia no fue significativa ( $p = 0,071$ ). Sin embargo, al separar a los participantes entre músicos y no músicos observamos que los participantes pertenecientes al sub-grupo formado por músicos percibieron el volumen de la sala reverberante significativamente mayor que el volumen de la cámara anecoica ( $p = 0,018$ ), mientras que el subgrupo formado por no músicos no percibió diferencias entre ambas salas ( $p = 0,54$ ).

En la Fig. 3 mostramos la distancia media percibida en función de la distancia real de los estímulos visuales obtenidas en las salas anecoica (rojo) y reverberante (azul). Las barras indican  $\pm$  error estándar y la línea punteada indica la distancia física de los objetivos.



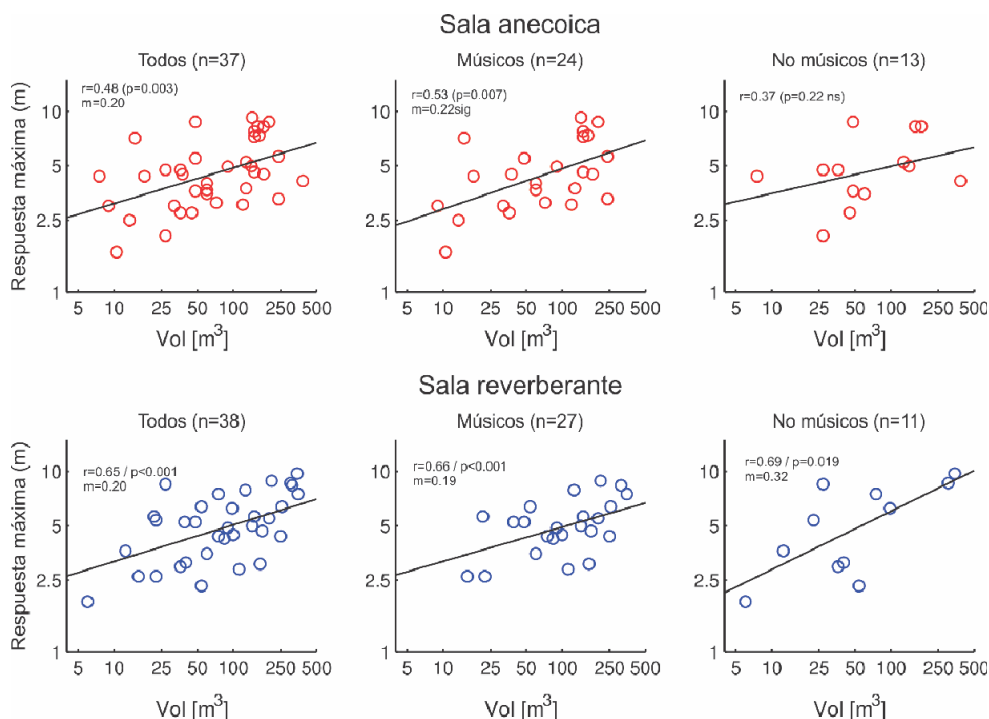
**Figura 3:** Percepción visual de distancia. Se muestra la media de la distancia percibida como función de la distancia real (las barras indican  $\pm$  error estándar) de los estímulos visuales obtenidos en las salas anecoica (rojo) y reverberante (azul). Panel izquierdo: Todos los sujetos. Panel central: músicos. Panel derecho: no-músicos. La línea punteada indica la distancia física de los estímulos.

Los resultados indican que los participantes que realizaron el experimento en la cámara anecoica percibieron el estímulo visual a una distancia mayor que los que realizaron el experimento en la cámara reverberante.

Esto fue así para todas las distancias de prueba. En el grupo formado por músicos este efecto fue mayor que en el grupo formado por todos los participantes mientras que la respuesta de los no-músicos no fue afectada por la sala experimental.

Para medir la significancia de las respuestas en ambas salas se realizó un ANOVA de dos vías de medidas repetidas sobre el logaritmo de la distancia percibida con los factores "distancia" (intra-sujetos) y "sala" (entre-sujetos). Encontramos un efecto significativo de la sala para el grupo formado por todos los participantes ( $F = 4,12$ ,  $p = 0,046$ ) y para el subgrupo formado por músicos ( $F = 5,28$ ,  $p = 0,026$ ). Para los no-músicos, la sala no afectó significativamente su respuesta ( $F = 0,011$ ,  $p = 0,92$ ). El efecto de la distancia fue significativa en todos los casos ( $F > 149$ ,  $p < 0,001$ ), mientras que la interacción entre la distancia y la habitación no lo fue ( $F < 1,5$ ,  $p > 0,20$ ).

La Fig. 4 muestra la correlación entre la máxima distancia percibida y el volumen percibido de las salas anecoica (fila superior/círculos rojos) y reverberante (fila inferior/círculos azules) de todos los sujetos (izquierda), los músicos (centro) y los no-músicos (derecha). Para cada condición, se muestran (véase recuadro) el coeficiente de correlación entre ambas respuestas y la pendiente de un ajuste lineal a los datos (línea de color negro). Todos los grupos mostraron una correlación positiva significativa entre la máxima distancia percibida de la clave visual y el tamaño percibido de la sala con excepción de los no-músicos cuando realizaron el experimento en la cámara anecoica.



**Figura 4:** Máxima distancia percibida vs volumen de la sala percibido. Fila superior: datos para cámara anecoica (círculos rojos). Fila inferior: datos para la sala reverberante (círculos azules). De izquierda a derecha mostramos los datos de todos los sujetos (izquierda), músicos (centro) y los no-músicos (derecha). Para cada condición, se muestran en el cuadrante superior derecho el coeficiente de correlación entre ambas respuestas y la pendiente de un ajuste lineal a los datos (línea de color negro).

#### 4 Conclusiones

Los resultados obtenidos apoyan fuertemente la hipótesis inicial de que el contexto auditivo afecta a la percepción visual de distancia de estímulos visuales presentados en la oscuridad (sin referencias visuales). Los resultados muestran que la percepción visual de distancia se vio afectada significativamente por la sala donde se realizaron los experimentos. Los resultados mostrados en las Figuras 2 y 3 sugieren que este efecto es debido a una relación entre el tamaño de la habitación percibido (mediante la clave dada por el tiempo de reverberación) y la distancia percibida del objeto visual, ya que solamente el subgrupo que percibió diferencias en el volumen de ambas salas (los músicos), percibió también las claves

visuales a diferentes distancias (las claves visuales fueron percibidas mas lejos en la sala que fue percibida de mayor tamaño). El hecho de que el subgrupo de no-músicos no percibiera diferencias ni en el tamaño percibido de la sala, ni en la distancia a la clave visual, apoya esta hipótesis. Otra evidencia a favor de la hipótesis se observa en los resultados mostrados en la Fig. 4, la cual muestra que el tamaño percibido de la sala y la distancia máxima reportada por los participantes tienen una correlación positiva significativa. Esto se verifica en todas las condiciones de prueba excepto para el grupo de no-músicos en la sala anecoica.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con lo reportado en estudios previos que muestran que la información relacionada con el contexto influye en la PVD (ver Renner et al. (2013) para una revisión reciente). Sin embargo, este es el primer estudio que muestra una relación entre señales auditivas espaciales y la percepción visual de la distancia. El hecho de que indicios espaciales obtenidos por la modalidad auditiva afecten la percepción visual de distancia es un hecho interesante ya que sugiere que estos procesos ocurren en zonas del cerebro de alta jerarquía y abren la puerta a nuevas preguntas a responder en el área de estudio.

## Referencias

- Cabrera D, Azzali A, Capra A, Farina A and Martignon P (2006) "Perceived room size and source distance in five simulated concert auditoria". Paper presented at the 12th International Congress on Sound and Vibration, Lisbon, Portugal
- Calcagno, E. R., Abregú, E. L., Eguía, M. C., y Vergara, R. (2012). "The role of vision in auditory distance perception," *Perception*, 41, 175–192.
- Hameed S, Pakarinen J, Valde K, Pulkki V (2004) "Psychoacoustic cues in room size perception", in paper No 6084 presented at the Proceedings of Convention, 116th Audio Engineering Society Convention, Berlin, Germany
- King AJ. (2009). "Visual influences on auditory spatial learning". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 364, 331-339
- Lappin, J. S., Shelton, A. L., & Rieser, J. J. (2006). Environmental context influences visually perceived distance. *Perception & psychophysics*, 68(4), 571-581.
- Loomis JM, DaSilva JA, Fujita N y Fukusima SS (1992) "Visual space-perception and visually directed action". *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 18, 906-921
- Mershon D H, Ballenger W L, Little A D, McMurtry P L, Buchanan J L (1989) "Effects of room reflectance and background noise on perceived auditory distance" *Perception* 18 403-416
- Renner, R. S., Velichkovsky, B. M., & Helmert, J. R. (2013). "The perception of egocentric distances in virtual environments - a review". *ACM Computing Surveys (CSUR)*,46(2),23.
- Sanchez-Perez, J. V., Caballero, D., Martinez-Sala, R., Rubio, C., Sánchez-Dehesa, J., Meseguer, F., Llinares, J., et al. (1998). "Sound Attenuation by a Two-Dimensional Array of Rigid Cylinders," *Physical Review Letters*, 80, 5325–5328.
- Sandvad J (1999) "Auditory perception of reverberant surrounding". *J. Acoust. Soc. Am*, 105, 1193