



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2024/2025

Nº de proyecto 191

Audiómetro, altavoces y cascos calibrados para la presentación de
estimulación auditiva en el Grado en Psicología

Responsable del Proyecto: Leticia Álvaro Llorente

Facultad de Psicología

Departamento de Psicología experimental,

Procesos cognitivos y Logopedia

1. OBJETIVOS PROPUESTOS EN LA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

El objetivo principal del presente proyecto era mejorar la calidad de los estímulos auditivos que se presentaban en las prácticas de *Psicología de la Percepción*.

Para ello se propusieron varias estrategias:

1. Se solicitó la adquisición de material profesional que permitiera tener en cuenta las dimensiones y condiciones del aula para calibrar los estímulos auditivos mediante la utilización de un software específico¹ y un micrófono de medición² (adquiridos mediante el presupuesto del curso anterior, Proyecto 56 del programa Innova Docencia 23-24³), con el fin de corregir la respuesta en frecuencia del aula. Asimismo, se planteó utilizar una tarjeta de audio⁴ y unos altavoces⁵ que mejoraran la calidad de los estímulos presentados, sobre los que los alumnos realizaban sus prácticas. El material que se propuso adquirir en el presente proyecto permitiría la presentación de la estimulación auditiva:
 - Mediante altavoces (de forma simultánea para todos los alumnos).
 - Mediante cascos (de forma individual, ya que debido al coste solo se propuso adquirir un sistema de cascos).

El curso anterior, varios miembros del presente proyecto participaron en el proyecto “*Equipamiento profesional para la realización de prácticas de audición de Psicología de la Percepción*” (Proyecto 56 del programa Innova Docencia 23-24³). Dado que solo se obtuvo un 38% del presupuesto solicitado, se adquirió una parte del equipamiento profesional propuesto (software específico¹ y un micrófono de medición²). La presentación de estímulos mediante altavoces se realizó gracias a un préstamo de material (altavoces y tarjeta de sonido) de compañeros de la Facultad de Físicas de la UCM. Sin embargo, dado el tamaño, el peso y la delicadeza de este equipamiento, se consideró necesario adquirirlo para su uso en la Facultad de Psicología.

2. Se solicitó presupuesto para financiar el alquiler del audiómetro calibrado del que se disponía en el CAI de la Facultad de Psicología⁶.

La calibración se había realizado recientemente (16/02/24), siguiendo la norma UNE-EN 60645-1:2017 y el documento EA-4/02 M:2022, en el Laboratorio de Calibración e Instrumentos Acústicos de la Universidad Politécnica de Madrid⁷, acreditado por la ENAC.

Como objetivos específicos se plantearon los siguientes, todos ellos orientados a mejorar la adquisición de conocimientos de los alumnos de prácticas:

1. La utilización de materiales profesionales que se aproximan más a aquellos que los alumnos podían encontrarse en su futuro desempeño profesional.

¹<https://www.sonarworks.com/soundid-reference>

²<https://www.behringer.com/product.html?modelCode=0506-AAA>

³<https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/df7816fb-7b2f-47c6-88ec-dab5f3b2689c/content>

⁴<https://focusrite.com/products/scarlett-2i2>

⁵Sony, modelo SS-E211

⁶<https://cai.ucm.es/tecnicas-analisis-comportamiento/analisis-comportamiento/infraestructuras/audiometro/96/>

⁷<https://www.upm.es/recursosidi/offers-resources/servicios-cientifico-tecnologico/servicios-servicios-cientifico-tecnologico/laboratorio-de-calibracion-de-instrumentos-acusticos-lacainac/>

2. La obtención de resultados más precisos, lo cual también tendría un impacto positivo en el aprendizaje de los alumnos y permitiría que sus resultados fueran más fácilmente comparables con los reportados en los estudios que utilizaban población de su misma edad (grupos normativos de comparación).
3. Comparar los resultados obtenidos en las prácticas en las que se utilizaría el material adquirido en el presente proyecto frente a los obtenidos con el material anteriormente disponible en las aulas (ordenadores, tarjeta de sonido y altavoces de baja calidad).
4. Comparar los resultados obtenidos con mediciones individualizadas mediante cascos frente a altavoces (tanto los altavoces a adquirir como los ya disponibles en las aulas).
5. Comparar los resultados obtenidos con el material a adquirir (cascos y altavoces) con los reportados por un audiómetro calibrado⁸ del CAI Técnicas de Análisis del Comportamiento⁶ en el caso de la práctica de la curva de audibilidad.

2. OBJETIVOS ALCANZADOS

Para realizar el proyecto se solicitaron 693.95€, pero el proyecto se concedió sin financiación. Esto impidió poder adquirir el equipamiento profesional, esto es, los altavoces, la tarjeta de audio y los cascos. Los técnicos de la Unidad de Instrumentación de la Facultad de Psicología nos prestaron unos altavoces⁵ y una tarjeta de sonido⁴, pero esta última no pudo utilizarse para todas las prácticas ya que se utiliza habitualmente en el Salón de Grados de la Facultad de Psicología, por lo que si había algún acto en dicha sala (por ejemplo, defensa de tesis o de plaza de profesorado), el equipamiento no podía utilizarse. Lo que sí se usó es el software de calibración¹ y el micrófono de medida², previamente adquiridos con el proyecto nº 56 de la convocatoria 23-24³.

Con el presupuesto obtenido y el préstamo de equipamiento por parte de la Unidad de Instrumentación de la Facultad de Psicología⁹, se han alcanzado los objetivos específicos 1, 2, 3 y 5 de la siguiente manera:

- 1) Se realizó la práctica de la teoría de detección de la señal (TDS) utilizando el material profesional en dos subgrupos de prácticas: altavoces⁵, tarjeta de audio⁴, software de calibración¹ y micrófono de medida².
- 2) Se realizó la práctica de la TDS utilizando el material de las aulas en dos subgrupos de prácticas: altavoces y amplificador de uso común en las aulas de la Facultad de Psicología.
- 3) Se realizó la práctica de la curva de audibilidad utilizando el material de las aulas en todos los grupos de prácticas: altavoces y amplificador de uso común en las aulas de la Facultad de Psicología.
- 4) Se realizaron mediciones con el audiómetro del CAI a los alumnos interesados, que se pueden comparar a su vez con sus resultados individuales de curva de audibilidad.

Por tanto, no se pudieron alcanzar los objetivos 4 y 5 de la propuesta, puesto que no se pudo realizar la presentación mediante cascos en comparación con la presentación por altavoces, pues al no disponer de presupuesto no se pudieron adquirir cascos. Tampoco se pudo efectuar la recogida de datos de curva de audibilidad con el material profesional, al no poder realizarse el préstamo de equipamiento en esas fechas.

⁸<https://cai.ucm.es/tecnicas-analisis-comportamiento/analisis-comportamiento/tecnicas/audiometria-y-sonometria/54/>

⁹<https://udi.psi.ucm.es/reservas/>

3. METODOLOGÍA

a. Materiales

En relación con las prácticas de curva de audibilidad y TDS, los estímulos fueron generados mediante el *software* MATLAB. Las prácticas se realizaron:

- Sin material profesional: se llevó a cabo en el aula habitual de cada grupo, con los altavoces y amplificadores de la UCM, siguiendo el procedimiento de las prácticas 5 y 4, respectivamente, de Serrano Pedraza et al. (2014).
- Con material profesional: esto solo fue posible para la práctica de TDS, realizada en el seminario 1111 (Facultad de Psicología). Se utilizó el programa SoundID Reference¹ y un micrófono Behringer ECM 8000² para la calibración de la sala. Para la calibración y la presentación de estímulos, se utilizaron unos altavoces⁵ y una tarjeta de sonido⁴ prestados por la Unidad de Instrumentación⁹. Para la presentación de estímulos se utilizó el programa Cubase (versión de prueba)¹⁰.

En relación con la evaluación mediante audiómetro, se utilizó el audiómetro Audiotest 225⁸, equipamiento del CAI de Técnicas de Análisis del Comportamiento⁶ y que fue calibrado el curso 2024-2025 en el Laboratorio de Calibración de Instrumentos Acústicos (LACAINAC) de La Universidad Politécnica de Madrid⁷.

b. Participantes y procedimiento

1. PRÁCTICA TEORÍA DE LA DETECCIÓN DE LA SEÑAL

Realizaron la práctica sin material profesional 50 alumnos y 36 con material profesional. El objetivo fue comprobar experimentalmente si al realizar tareas de detección de SÍ/NO el comportamiento de las personas se ajustaba al modelo de TDS. Se emplearon dos tipos de estímulos (véase Figura 4.1 en Serrano Pedraza et al., 2014): ruido solo (ruido blanco Gaussiano de 1-22050 Hz) o señal (tono puro de 1000 Hz) inserta en ruido. Ambos fueron generados utilizando MATLAB. Se realizó únicamente la parte II de la práctica 4 del manual (Serrano Pedraza et al., 2014), poniendo a prueba la variación de la discriminabilidad de la señal con la variación de ratio señal/ruido (SNR; con dos condiciones experimentales, SNR 0.06 y 0.05). Se realizaron 100 ensayos por condición experimental, y los alumnos, para cada una de ellas, calcularon las probabilidades a priori, la matriz de respuestas directas, la de probabilidades condicionales, los parámetros de discriminabilidad (d') y criterio (β y c) y la representación de las curvas de isosensibilidad (ROC) y de isocriterio teóricas y reales.

2. PRÁCTICA CURVA DE AUDIBILIDAD

En esta práctica, participaron 86 alumnos (todos ellos sin material profesional), y solo se analizaron los datos de aquellos alumnos que también realizaron la audiometría para hacer una comparación directa de ambos tipos de datos. El objetivo fue determinar los umbrales de audibilidad utilizando el método de los límites con series descendentes y una tarea SÍ/NO. Se emplearon 8 tonos puros de 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, y 12000 Hz. Para cada frecuencia temporal, se hizo una presentación repetida (15 veces), disminuyendo en cada repetición, progresivamente, la amplitud del tono puro en pasos de 5 dB SPL. El procedimiento completo se repitió 3 veces, lo que permitió el cálculo de 3 puntos de transición (PT) de cada frecuencia presentada. El promedio de los 3 PT sirvió para calcular los umbrales absolutos para cada frecuencia. Estos datos se representaron en la curva de audibilidad y se compararon con datos normativos (ISO, 1961) mediante el cálculo de la pérdida auditiva (HL, *hearing loss* o pérdida auditiva).

3. AUDIOMETRÍA

Cinco alumnos voluntarios participaron en audiometrías vía aire en el seminario 1111. Se presentaron en orden aleatorio y monoauralmente (auricular izquierdo o derecho), tonos puros a 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000 y 8000 Hz. La amplitud disminuía en pasos de 5 dB SPL en una tarea sí/no, como en la práctica de curva de audibilidad.

¹⁰<https://www.steinberg.net/es/cubase/>

4. RECURSOS HUMANOS

En el presente proyecto han participado como personal docente e investigador siete personas, todas de la Facultad de Psicología (LAL, MEL, LLL, OBG, ACG, NL y H MV). Participó un miembro del PTGAS (CG) que colaboró en la gestión del audiómetro. Además, estaba prevista la participación de otro miembro del PTGAS (MS), que iba a ayudar en la distribución de cacos a los alumnos, pero finalmente no lo hizo al no contar con financiación para poder adquirir los cascos para la presentación de los estímulos auditivos. Todos los miembros del PDI participaron en el proyecto en el contexto de las prácticas de la asignatura de Psicología de la Percepción con las siguientes actividades:

- A. Práctica de la curva de audibilidad
- B. Práctica de la TDS
- C. Audiometría

5. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

Se realizaron dos prácticas obligatorias (TDS y curva de audibilidad) y una actividad voluntaria (audiometría) en la Facultad de Psicología durante el primer cuatrimestre del curso 2024-2025. Las actividades se enmarcaron en la asignatura Psicología de la Percepción, de carácter obligatorio del Grado en Psicología. Participaron dos grupos de grado, en cada uno de ellos hubo un subgrupo de prácticas que participó en la práctica de la TDS con material profesional y otro subgrupo que las hizo sin material.

Las prácticas sin material (TDS y curva de audibilidad) se realizaron en el aula habitual del subgrupo, mientras que las prácticas con material profesional (TDS) se realizaron en el seminario 1111 (Seminario del Departamento de Psicología experimental, Procesos cognitivos y Logopedia) en la Facultad de Psicología. Su respuesta acústica fue caracterizada en la banda de 20 Hz a 20 kHz. Para ello se utilizaron dos altavoces⁵, tarjeta de audio⁴, un micrófono de condensador modelo Behringer ECM 8000², un software de calibración¹ y un ordenador portátil con una tarjeta de audio externa modelo Focusrite Scarlett 2i2⁴.

La Figura 1 muestra las curvas de respuesta en frecuencia obtenidas durante el proceso de medición acústica de la sala, correspondientes a los canales izquierdo (*Left*) y derecho (*Right*) del sistema frontal. Las mediciones se realizaron en el punto de escucha de referencia, con un desfase temporal mínimo entre ambos canales (0 ms y 0,1 ms, respectivamente) y una ligera diferencia de nivel de aproximadamente 3 dB.

Results: Your room measurements

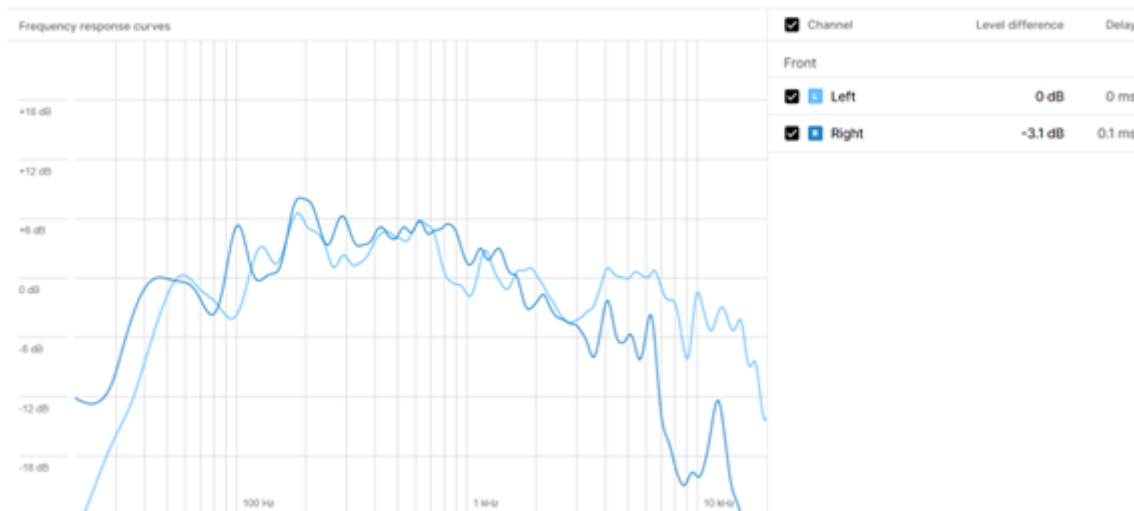


Figura 1. Curvas de respuesta acústica del Seminario 1111 de la Facultad de Psicología

Se observa una respuesta irregular con variaciones significativas a lo largo del espectro audible, lo que evidencia la influencia de las reflexiones y modos propios del recinto. En las bajas frecuencias (por debajo de 100 Hz) se presenta una acentuación seguida de caídas abruptas, típica de resonancias modales, mientras que hacia las frecuencias medias y altas se aprecia una tendencia decreciente que sugiere un comportamiento de tipo paso-bajo. La discrepancia de nivel entre los canales indica una leve asimetría en la propagación, posiblemente asociada a diferencias de absorción lateral (disparidad de materiales en los dos lados de la sala, véase Figura 2). Estas mediciones constituyen la base para la posterior ecualización del sistema mediante herramientas de corrección acústica (como SoundID Reference de Sonarworks¹), que permiten compensar las irregularidades y lograr una reproducción más neutra durante las pruebas auditivas.



Figura 2. Seminario 1111 de la Facultad de Psicología durante el proceso de calibración

La práctica de TDS implicó la recogida de datos de dos condiciones experimentales, A y B. En ambas condiciones, las instrucciones, la matriz de consecuencias o pagos y las probabilidades a priori se mantuvieron estables. Sin embargo, la razón señal ruido fue mayor en la condición A que en la condición B.

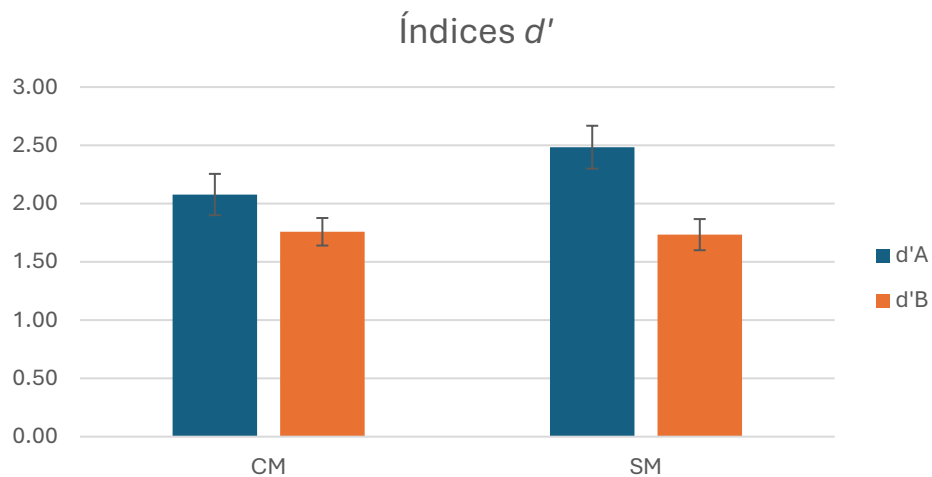


Figura 3. Resultados de discriminabilidad (d') en la práctica de la TDS de los grupos con material profesional (CM) y sin material (SM) en las condiciones A y B.

Observando los resultados de la Figura 3, podemos ver que en ambos grupos (con material profesional y sin material) la d' es menor en la condición B, algo esperable ya que la ratio señal ruido era menor. En relación con la magnitud de d' entre los dos tipos de presentación, no hay grandes cambios en relación con la condición B, pero sí en relación con la condición A. Los altavoces⁶ profesionales (utilizados en los grupos con material profesional) producen señales más limpias, con **menos distorsión y menos artefactos falsos**. Si bien los altavoces del aula (utilizados en los grupos sin material) tienen la ventaja de estar distribuidos de manera homogénea por toda el aula, aunque su menor calidad puede causar ruidos, resonancias y “pistas accidentales” que hacen que el oyente detecte mejor la señal. Esto podría explicar por qué, a pesar de la menor fidelidad de los altavoces del aula, el rendimiento en la condición A no disminuye en la misma medida que cabría anticipar. De hecho, la presencia de pequeñas resonancias o irregularidades en la reproducción podría estar generando indicios adicionales que faciliten la discriminación, actuando como claves no intencionadas del estímulo. Este patrón constituye, en cierto modo, un resultado inesperado, ya que se asumiría que un sistema de reproducción de mayor calidad debería ofrecer un entorno más favorable para la detección. Sin embargo, los datos sugieren que, en tareas de este tipo, la “pureza” de la señal no siempre se traduce directamente en una mayor sensibilidad, y que ciertos artefactos acústicos pueden influir sutilmente en el desempeño del oyente.

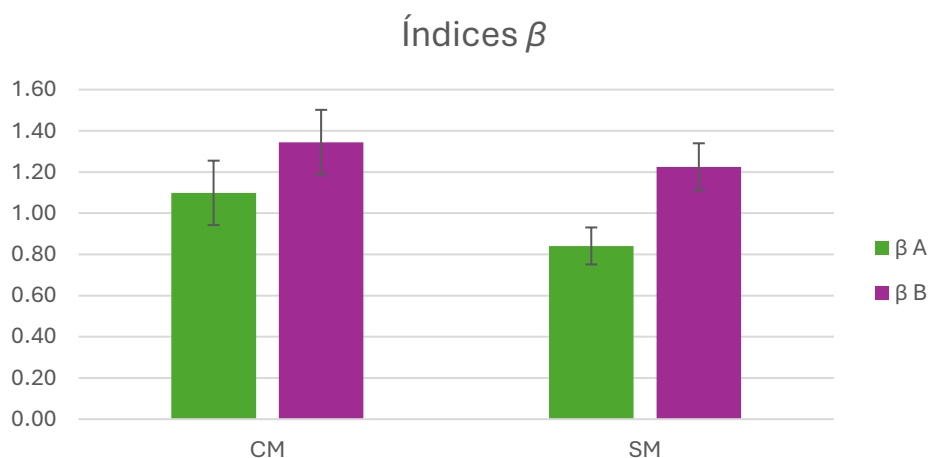


Figura 4. Resultados de criterio (β) en la práctica de la TDS de los grupos con material profesional (CM) y sin material (SM) en las condiciones A y B.

Esto es coherente con las diferencias de criterio observadas entre las condiciones A y B. Tal como muestra la Figura 4, en las condiciones sin material los participantes adoptaron un criterio más liberal en ambos experimentos. Este patrón coincide con la aparición de artefactos asociados al uso de materiales de menor calidad. En contraste, en el grupo con material profesional —donde la reproducción es más estable y la señal presenta menos irregularidades— el criterio tiende a mantenerse más conservador. Esto sugiere que, al no disponer de “pistas accidentales” generadas por el sistema de reproducción, los oyentes se muestran más cautos a la hora de emitir una respuesta afirmativa, lo que a su vez refuerza la interpretación de que la calidad del estímulo puede modular no solo la sensibilidad, sino también la estrategia decisional adoptada por los participantes.

En relación con la medición de umbrales auditivos, se hizo la comparación de las audiometrías binaurales realizadas en la práctica de la curva de audibilidad con los altavoces del aula con las medidas monoaurales realizadas con el audiómetro⁸. Para combinar las dos medidas binaurales, se utilizó la fórmula propuesta por Heil (2014) y que se detalla en la ecuación 1:

$$Binaural = -10 \log_{10} (10^{-Oído\ Izquierdo/10} + 10^{-Oído\ Derecho/10}) \quad (1)$$

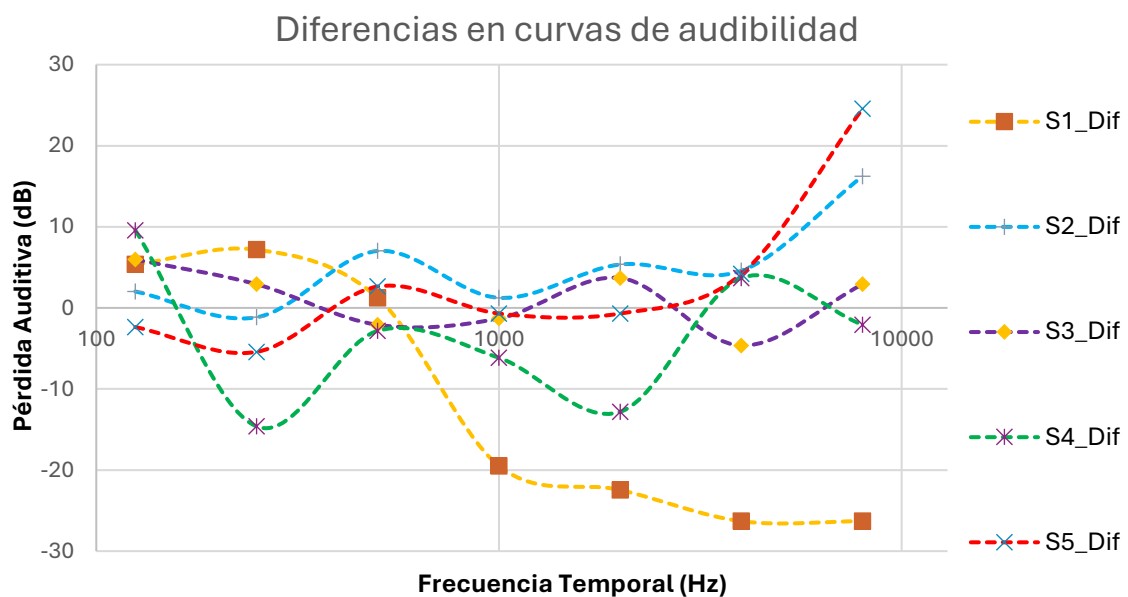


Figura 5. Diferencias entre los umbrales medidos con el audiómetro y con la práctica de la curva de audibilidad de cinco alumnos. Valores positivos indican una mejor ejecución en el audiómetro y valores negativos una mejor ejecución en la curva de audibilidad.

La Figura 5 muestra la comparación de los umbrales con altavoces de aula y de los umbrales con audiómetro (los valores negativos indican una mejor ejecución en la curva de audibilidad medida en clase con los altavoces de aula y valores positivos indican una mejor ejecución con el audiómetro calibrado). Como puede observarse, los resultados de la medición de los umbrales en el aula son dispares, mostrando tanto una sobreestimación (valores negativos) como una infraestimación (valores positivos) de la función auditiva de los individuos. Además, las diferencias alcanzan valores por encima de 20 dB para algunos individuos, lo cual es una discrepancia muy notable¹¹. Esta ejecución tan dispar se justifica probablemente por la distribución de los altavoces en el

¹¹World Health Organization. (2021). *World report on hearing*. World Health Organization.

aula que se sitúan a distancias diversas de cada alumno.

En conjunto, el desarrollo del proyecto ha permitido avanzar en la mejora de las prácticas de Psicología de la Percepción, a pesar de las limitaciones derivadas de la falta de financiación, y de la no disponibilidad del material para la práctica de la curva de audibilidad. Gracias al uso combinado del equipamiento previamente adquirido y del material prestado por la Unidad de Instrumentación, se han podido generar evidencias empíricas relevantes sobre el impacto de la calidad del sistema de reproducción sonora en las medidas psicofísicas y en el comportamiento perceptivo de los estudiantes. Estos resultados refuerzan la necesidad de disponer de equipamiento profesional estable y accesible en la Facultad de Psicología, tanto para garantizar la fiabilidad de las mediciones auditivas como para ofrecer a los alumnos una experiencia formativa más cercana a los estándares de la práctica profesional. Aunque no fue posible alcanzar todos los objetivos inicialmente planteados en este proyecto de innovación docente, los logros conseguidos subrayan el valor de continuar invirtiendo en infraestructura acústica y justifican plenamente la continuidad de esta línea de innovación docente en futuras convocatorias.

6. Referencias

- Heil, P. (2014). Towards a unifying basis of auditory thresholds: binaural summation. *J Assoc Res Otolaryngol*, 15(2), 219-234. <https://doi.org/10.1007/s10162-013-0432-x>
- ISO. (1961). Normal equal-loudness contours for pure tones and normal threshold of hearing under free field listening conditions. In (Vol. 226).
- Serrano Pedraza, I., Sierra Vázquez, V., & López Bascuas, L. E. (2014). *Psicología de la percepción: prácticas*. Editorial Síntesis. <https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/5ea36eba299952158e393bea>