

Complementariedad entre la Audiometría Tonal Liminar, Audiometría Extendida en Altas Frecuencias y Otoemisiones Acústicas Producto de Distorsión en Jóvenes con Posible Pérdida Auditiva

Por: Luciano Romero, Andrea Righetti, María Hinalaf

Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Ejecutora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) y Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad de Ciencias de la Salud (FCS), Universidad Católica de Santiago del Estero (UCSE), Instituto de Estadísticas y Demografía (IED), Facultad de Cs. Económicas, Universidad Nacional de Córdoba

Resumen

La sustancial variabilidad auditiva refleja la existencia de oídos resistentes y oídos vulnerables a la pérdida auditiva. El complemento de la audiometría con las otoemisiones acústicas productos de distorsión (OEAPD) podría ser una medida sensible para identificar indicadores subclínicos que no logran ser detectados por los métodos de medición audiológica convencional. El objetivo fue analizar los indicadores subclínicos de los umbrales auditivos convencionales y EAF y las amplitudes de las OEAPD de jóvenes universitarios. Se realizó un estudio de tipo descriptivo, correlacional y transversal en 85 jóvenes universitarios (170 oídos), 49 mujeres y 36 hombres. Los oídos se clasificaron en tres grupos de acuerdo al rango de frecuencias convencionales (C, 250 a 8000 Hz) y de alta frecuencia (AF, 9000 a 16000 Hz); y de acuerdo a las amplitudes y la relación señal ruido (DP). En la audiometría C y AF se clasificó a su vez, de acuerdo a los valores de los umbrales: (1) ≤ 18 dB HL en todas las frecuencias; (2) entre 19-24 dB HL en al menos una frecuencia; (3) > 24 dB HL en al menos una frecuencia. En las OEAPD se clasificaron en (1) respuestas presentes normales; (2) respuestas presentes anormales; y (3) respuestas ausentes. Los resultados mostraron que los niveles de OEAPD disminuyen a medida que los umbrales auditivos incrementan. Se identificó que los umbrales extendidos de alta frecuencia y los niveles de OEAPD empeoran en paralelo con umbrales más deteriorados (AF/DP 2 y 3) aun cuando la audición en el rango convencional está dentro de los límites normales. La complementariedad entre la audiometría en ambos rangos frecuenciales y las OEAPD son sensibles para la detección de indicadores subclínicos de oídos vulnerables a una posible pérdida auditiva.

Palabras clave

audiometría extendida de alta frecuencia, otoemisiones acústicas, jóvenes.

RECIBIDO ABRIL DE 2024 | EVALUADO OCTUBRE DE 2024 | PUBLICADO 19 DE NOVIEMBRE DE 2024



Abstract

The substantial hearing variability reflects the existence of resistant ears and ears vulnerable to hearing loss. Complementing audiometry with distortion product otoacoustic emissions (DPOAE) could be a sensitive measure to identify subclinical indicators that cannot be detected by conventional audiological measurement methods. The aim was to analyze the subclinical indicators of conventional and extended high-frequency hearing thresholds and DPOAE amplitudes in young university students. A descriptive, correlational and cross-sectional study was conducted in 85 young university students (170 ears), 49 women and 36 men. The ears were classified into three groups according to the conventional frequency range (C, 250 to 8000 Hz) and extended high-frequency (EHF, 9000 to 16000 Hz); and according to the amplitudes and signal-to-noise ratio (SNR). In C and EHF audiometry, the following were classified according to the threshold values: (1) ≤ 18 dB HL in all frequencies; (2) between 19-24 dB HL in at least one frequency; (3) > 24 dB HL in at least one frequency. In DPOAE, they were classified as (1) normal present responses; (2) abnormal present responses; and (3) absent responses. It has been observed that DPOAE levels decrease as hearing thresholds increase. It has been identified that extended high-frequency thresholds and DPOAE levels worsen in parallel with more deteriorated thresholds (EHF/DP 2 and 3) even when hearing in the conventional range is within normal limits. The complementarity between audiometry in both frequency ranges and DPOAEs are sensitive for the detection of subclinical indicators of ears vulnerable to possible hearing loss.

Keywords

extended high-frequency audiometry, otoacoustic emissions, young people.

Introducción

Los altos niveles de ruido ambiental son una causa frecuente de pérdida auditiva en las sociedades desarrolladas. Se ha declarado a la pérdida auditiva inducida por ruido como una epidemia moderna y silenciosa (Imam y Hannan, 2017) y es considerada en la actualidad un problema social y de salud pública. El daño en la audición provocado por el ruido se desarrolla de manera lenta e insidiosa y con efectos acumulativos de la exposición a lo largo de los años. La Organización Mundial de la Salud (2024), estima que más de 1000 millones de jóvenes corren el riesgo de sufrir una pérdida de la audición por exposición a ruido evitable.

En primera instancia, la exposición a ruidos fuertes durante las actividades de ocio provoca una pérdida temporal de la audición. Aunque tiempo después los cambios en los umbrales audibles vuelven a su estado normal, la exposición prolongada o repetida en el tiempo puede inducir a una pérdida auditiva irreversible. En etapas de daño auditivo incipiente, los jóvenes son capaces de informar las dificultades en su audición, mientras que la edad avanzada se asocia con menores probabilidades de dificultad auditiva autoinformada, a pesar de que la prevalencia de la pérdida auditiva neurosensorial aumenta con la edad (Dillard et al., 2024).

El daño causado por la exposición a ruido erige un déficit en la propiedad tonotópica en la base de la cóclea y en la interacción entre la membrana basilar y las células ciliadas externas, lo cual provoca el incremento de los umbrales auditivos. Se sabe que el deterioro auditivo provocado por el ruido no sólo depende de factores propios del estímulo sonoro, sino también de la sensibilidad individual (Wolpert et al., 2014), lo que refleja la existencia de oídos resistentes y oídos vulnerables a los efectos del ruido.

Los umbrales auditivos convencionales (250 a 8000 Hz), pueden variar entre los jóvenes con audición clínicamente normal (-10 a 20 dB HL). Se cree que las variaciones intrasujetos podrían deberse al daño en las células ciliadas externas que exacerba la vulnerabilidad de las estructuras cocleares de las personas con una acumulación lenta de sobreexposición a ruido evitable (Wu et al., 2021). El registro de las otoemisiones acústicas se considera un recurso de utilidad clínica para el estudio objetivo de alteraciones del oído interno. Se emplean para la evaluación funcional de las células

ciliadas externas, dado que cuando se encuentran dañadas se puede observar cambios en la amplitud de las otoemisiones acústicas (Zelle et al., 2017; Guinan, 2010).

Diversos estudios intentaron establecer las capacidades de las OEAPD como predictoras de los umbrales auditivos. Aunque las modestas conclusiones fueron aceptadas en el campo de estudio audiológico, no se logró establecer un modelo estadístico específico que refleje con precisión la función de las células ciliadas externas y la variación funcional de aspectos de la audición cuando los umbrales auditivos se encuentran afectados (Bramhall et al., 2021). A pesar de la sustancial variabilidad, se ha sugerido el complemento de la audiometría convencional con las OEAPD como una medida sensible para detectar daños auditivos que no logran ser detectados por los métodos de medición audiológica convencional (Lapsley Miller y Marshall, 2007).

Ahora bien, se ha demostrado que el estudio de los umbrales auditivos con audiometría extendida de alta frecuencia (EAF, 9000 a 16000 Hz) es más sensible que la audiometría convencional para detectar la pérdida auditiva inducida por ruido, incluso cuando los umbrales auditivos convencionales se encuentran dentro de los valores normales (Mishra et al., 2022; Prendergast et al., 2017). Se ha señalado que el incremento del umbral auditivo EAF se asocia con la presencia de una muesca (Wei et al., 2017), y podría ser utilizado como predictor en una etapa temprana de daño auditivo (Tinazli y Tinazli, 2022).

Por un lado, se sabe que los umbrales auditivos en el rango EAF se deterioran con la edad y el aumento de frecuencia (Wang et al., 2021). Incluso, podrían proporcionar evidencia de daño auditivo relacionado con la edad a partir de los 19 años (Henderson et al., 2011), con un deterioro más rápido luego de los 21 años (Mishra et al., 2022). Por otra parte, se sabe que el deterioro de la audición EAF comienza en la infancia y puede acompañarse de una disminución en las respuestas de las otoemisiones acústicas (Groh et al., 2006). Por esta razón, se ha señalado que las OEAPD podrían ser predictores de los cambios en los umbrales EAF, debido a que se correlacionan con el aumento de la edad (Jedrzejczak et al., 2023).

Investigaciones previas compararon los indicadores de pérdida auditiva arrojadas por la audiometría convencional, EAF y OEAPD en personas expuestas a ruido (Mehrpour et al., 2014;

Laffoon et al. (2019). Las tres pruebas identificaron frecuencias principales que se vieron afectadas. Las OEAPD mostraron amplitudes reducidas en las frecuencias 8 y 10 kHz, mientras que los umbrales auditivos fueron significativamente más altos en 2, 3 y 4, 14 y 16 kHz. El uso de auriculares, durante más de 2 horas al día durante al menos 1 año, podría producir cambios en los umbrales EAF y reducción de los OEAPD en jóvenes con umbrales auditivos convencional normal; además, en los jóvenes con deterioro de los umbrales EAF podría asociarse con la ausencia de OEAPD en frecuencias del rango convencional (Mishra et al., 2022).

En este sentido, el análisis integral de los indicadores auditivos permitiría identificar señales que pueden ser consecuentes de un evento fisiológico de la audición, o bien, consecuente de un evento fisiopatológico de la audición. Asimismo, podría contribuir a la identificación temprana de la vulnerabilidad auditiva en los jóvenes. El objetivo de este trabajo fue analizar los indicadores subclínicos de los umbrales auditivos aéreos en los rangos convencionales y EAF y las amplitudes de las OEAPD de jóvenes universitarios.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio de tipo descriptivo, correlacional y transversal. Los datos utilizados fueron recolectados entre los años 2015 y 2019 en el CINTRA, CONICET - UTN.

La población de estudio pertenece a jóvenes universitarios con edades entre 18 y 25 años, consentimiento informado firmado, reposo auditivo de ocho horas e impedanciometría dentro de los parámetros normales. Se excluyeron aquellas personas que se exponían a ruidos provenientes de ambientes laborales (call center, fábricas, entre otros), que presentaban afecciones auditivas en el momento de la prueba o que tenían datos faltantes.

La muestra quedó conformada por 85 jóvenes universitarios (170 oídos), 49 mujeres y 36 hombres extraídos de una base de datos de la línea de investigación denominada Abordaje integral de jóvenes con potencial pérdida auditiva del CINTRA. Para la obtención de datos primarios se respetaron los principios éticos de la Declaración de Helsinki.

Los estudios auditivos fueron llevados a cabo en una cabina audiométrica sonoamortiguada móvil (Gaetán et al., 2019). Se utilizó un cuestionario de estado auditivo realizado ad hoc para conocer los antecedentes otológicos, las enfermedades neurológicas y los agentes ototóxicos, entre otros aspectos. Las técnicas y los instrumentos utilizados para la impedanciometría, audiometría y OEAPD pueden encontrarse en detalle en trabajos previos del equipo de investigación (Hinalaf et al., 2017a; Pérez et al., 2020).

Los oídos se clasificaron en tres grupos según los rangos audibles de frecuencias convencionales (250 a 8000 Hz)A, EAF (9000 a 16000 Hz)B y las amplitudes y relación señal ruido (RSR) de las OEAPD (1000 a 8000 Hz)C:

AC1: valores \leq a 18 dB HL en todas las frecuencias; C2: valores entre 19 y 24 dB HL en al menos una frecuencia; C3: valores $>$ a 24 dB HL en al menos una frecuencia.

BAF1: valores \leq a 18 dB HL en todas las frecuencias; AF2: valores entre 19 y 24 dB HL en al menos una frecuencia; AF3: valores $>$ a 24 dB HL en al menos una frecuencia.

CDP1: respuestas presentes normales cuando se cumplían dos criterios, la amplitud era \geq a 0 dB SPL (sound pressure level, por sus siglas en inglés) y la RSR (relación señal ruido) era \geq a 6 dB SPL, en las siete frecuencias estudiadas; DP2: respuestas presentes anormales cuando se daba alguna de las siguientes situaciones: a) no se cumplía el criterio de amplitud en al menos una frecuencia y no se cumplía el criterio de la RSR en hasta tres frecuencias; b) se cumplía el criterio de amplitud en todas las frecuencias y no se cumplía el criterio de la RSR en hasta tres frecuencias; c) no se cumplía el criterio de amplitud en al menos una frecuencia y si se cumplía el criterio de la RSR en todas las frecuencias; DP3: respuestas ausentes cuando la amplitud fue $<$ a 0 dB SPL en cuatro o más

frecuencias y la RSR fue $<$ a 6 dB SPL en cuatro o más frecuencias.

Se diseñaron bases de datos ad hoc y se realizaron análisis estadísticos descriptivos de cada una de las variables de interés (tablas de frecuencia por categoría de las variables y cálculo de medidas de posición y dispersión, entre otros). Se utilizó la mediana para las representaciones gráficas, dado que las variables no presentaron una distribución normal mediante la prueba de Shapiro Willks. Además, el coeficiente de variación reflejó una distribución heterogénea dado que superaron el 30%. Los datos fueron analizados y procesados mediante el software estadístico InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018).

Resultados

Se evaluaron un total de 170 oídos, y se clasificaron en tres grupos según los UA en los rangos convencional y EAF. En la Tabla 1, se observa que la mayoría de los oídos se clasificaron como C1 y AF1, es decir, que presentaron UA conservados en toda la gama de frecuencias evaluadas. Sin embargo, se presentaron oídos con UA convencionales conservados (grupo C1), pero con UA de alta frecuencia mayores a 21 dB en una o más de las frecuencias evaluadas (grupos AF2 y AF3).

En el grupo C2, se observaron casos con umbrales del rango extendido conservados (AF1), y además existieron casos correspondientes al grupo AF3, es decir con UA mayores a 24 dB HL en al menos una frecuencia del rango extendido.

El grupo C3, quedó conformado solo por 5 oídos, de los cuales 4 formaban parte del grupo AF3, es decir que estos oídos presentaban UA mayores a 24 dB HL en al menos una frecuencia tanto en el rango convencional como en el rango EAF.

Tabla 1. Distribución de frecuencia y de poderío de los oídos pertenecientes a grupos C y AF según umbrales auditivos

Grupos C	Grupos AF						Total	
	AF1		AF2		AF3			
	n	%	n	%	n	%	n	%
C1	101	91,8	17	94,4	30	71,4	148	87,1
C2	9	8,2	0	0	8	19,0	17	10,0
C3	0	0	1	5,6	4	9,6	5	2,9
Total	110	100	18	100	42	100	170	100

Nota: clasificación de los grupos según los rangos audibles convencionales (250 a 8000 Hz)A y extendido de alta frecuencia (9000 a 16000 Hz)B. Grupos C (convencional) y grupos AF (alta frecuencia)

Umbrales auditivos convencional y EAF

El oído derecho presentó umbrales incrementados en la mayoría de las frecuencias en comparación al oído izquierdo.

El análisis descriptivo de UA de acuerdo a los grupos C y AF se muestran en la Figura 1. Los grupos C1 y C2 alcanzaron valores próximos entre sí en todas las frecuencias, mientras que, el grupo C3 presentó UA incrementados, principalmente en el rango extendido de altas frecuencias de ambos oídos. Particularmente, en la frecuencia 4000 Hz del oído izquierdo, se observó un mayor incremento en el umbral a medida que avanza en la clasificación de los grupos C, es decir que, expresado en dB HL el grupo C1 presentó el menor valor y el grupo C3 el mayor valor. En los grupos C1 y C2 existieron casos de no respuesta en ambos oídos en las frecuencias 14000 y 16000 Hz.

Los 3 grupos AF presentaron UA en rango convencional conservados, mientras que, en las altas frecuencias del grupo AF3 se observó un incremento progresivo del UA a medida que avanzan las frecuencias. En el oído derecho del grupo AF2, se observó un incremento del UA y una morfología de muesca incipiente entre las frecuencias 8000 y 11200 Hz. En el oído izquierdo del grupo AF3,

existieron casos de no respuesta en la frecuencia 8000 y 16000 Hz.

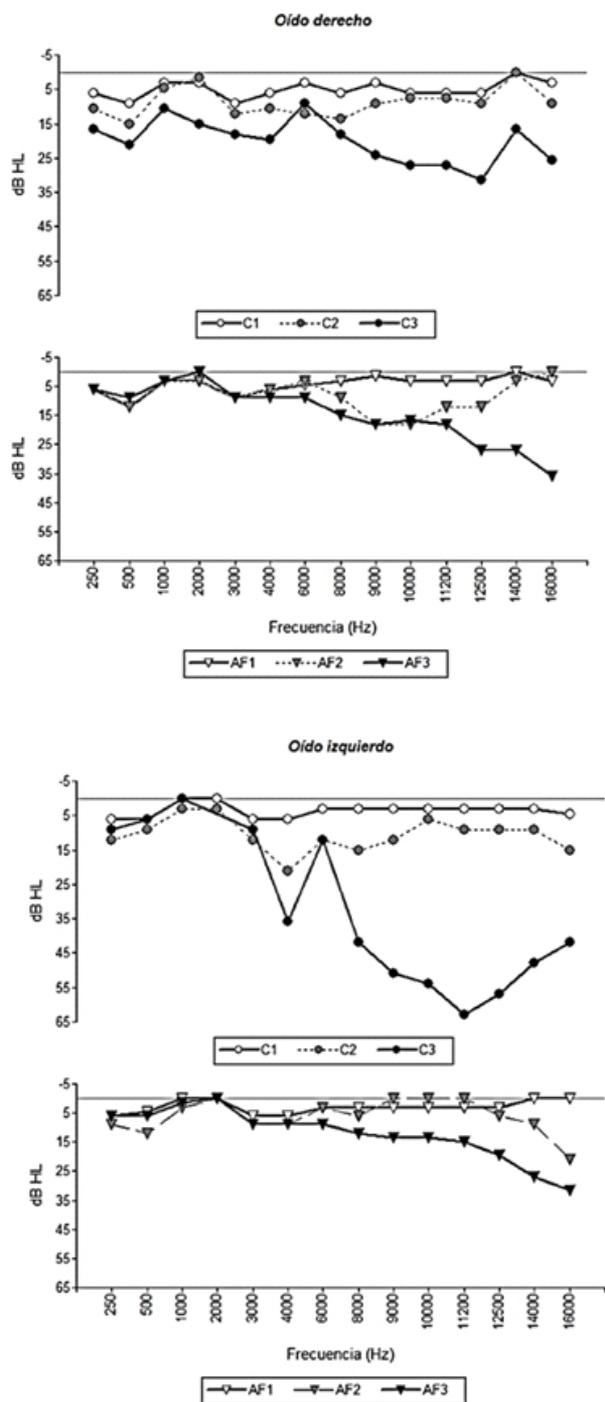


Figura 1. Mediana de umbrales auditivos convencional y extendido de alta frecuencia de acuerdo a los grupos C y AF

En el análisis entre mujeres y hombres, se observaron mínimos incrementos (de 3 a 6 dB HL) del umbral en los hombres, mientras que en las mujeres en las frecuencias 4000, 6000, 12500, 14000 y 16000 Hz de ambos oídos. Cuando se analizó los grupos C, se observó en hombres y mujeres y en ambos oídos que los grupos C1 y C2 estuvieron próximos entre sí en todas las frecuencias, mientras que, el grupo C3 presentó UA incrementados, principalmente en las altas frecuencias (a partir de 8000 Hz). Se señala que los grupos C2 y C3 se encontraron conformados por pocos o ningún oído.

En ambos oídos de los grupos AF de mujeres y hombres se encontró la misma tendencia que en los grupos C. Los valores fueron próximos entre grupos AF1 y AF2, mientras que, el grupo AF3 mostró un incremento en las altas frecuencias a partir de la frecuencia 8000 Hz. Asimismo, en el oído izquierdo del grupo AF2

los UA se incrementaron a partir de la frecuencia 12500 Hz, siendo menores que los manifestados por el grupo AF3.

En las mujeres se observó una morfología de muesca en el oído derecho las morfologías de muescas incipientes fueron entre 2000 a 6000 Hz y 8000 a 12500 Hz en el grupo AF2, y una muesca incipiente en el oído izquierdo (alrededor de 12 a 18 dB HL) entre 8000 a 10000 Hz en el grupo AF3; En los hombres, se observó una muesca incipiente entre las frecuencias 2000 a 6000 Hz en el oído derecho del grupo AF1 y en oído izquierdo del grupo Af2.

Amplitudes de las OEAPD

El oído izquierdo mostró amplitudes mayores en todas las frecuencias estudiadas. En ambos oídos hubo presencia de amplitud en la mayoría de las frecuencias (>0 dB SPL), a excepción de la frecuencia 8000 Hz en el oído derecho.

El análisis de las amplitudes clasificados según grupos DP, mostró que en el oído izquierdo los valores resultaron mayores en el grupo DP1 en la mayoría de las frecuencias a excepción de las frecuencias 6000 y 8000 Hz, seguidos del grupo DP2 y DP3. En el oído derecho, no existieron oídos en la categoría DP3. En el grupo DP2 las amplitudes del oído derecho fueron negativas cercanas a 0 dB SPL en dos frecuencias (1000 y 8000 Hz).

El análisis entre mujeres y hombres, mostró que en ambos oídos los valores de las amplitudes superan los 0 dB SPL (entre 3,2 y 13,9 dB SPL), a excepción de la frecuencia 8000 Hz que manifestaron valores disminuidos cercano a 0 dB SPL, siendo negativo en oído derecho en las mujeres. Por otro lado, se observaron amplitudes mayores en el grupo DP1 que superan el valor de 0 dB SPL en todas las frecuencias. Los valores de DP2 fueron menores que DP1, particularmente en la frecuencia 8000 Hz decrece la amplitud aproximándose a 0 dB SPL o bien exhibe un valor negativo. Un único oído izquierdo de mujer formó parte del grupo DP3 con valores negativos en la mayoría de las frecuencias.

Umbrales auditivos y OEAPD

Los oídos de los jóvenes fueron evaluados y clasificados según los UA y las OEAPD (tabla 2). Los oídos con UA normales (C1 y AF1), principalmente obtuvieron respuestas presentes anormales en las OEAPD (DP2). Asimismo, los grupos C2 y C3 con UA mayores a 19 y 24 dB HL respectivamente, en al menos una frecuencia del rango convencional, exhibieron respuestas presentes anormales (DP2). Los grupos AF2 y AF3 con UA mayores a 19 y 24 dB HL respectivamente, en al menos una frecuencia del rango extendido, exhibieron respuestas presentes anormales, pertenecientes al grupo DP2.

Tabla 2. Distribución de frecuencia y en porcentaje de los umbrales según los Grupos DP

Grupos umbral auditivo	Umbral auditivo	Grupos DP						Total	
		DP1		DP2		DP3		n	%
		n	%	n	%	n	%		
Grupo C	C1	49	92,4	98	84,5	1	100	148	87,1
	C2	3	5,7	14	12,1	0	0	17	10,0
	C3	1	1,9	4	3,4	0	0	5	2,9
Grupo A	AF1	40	75,5	69	59,5	1	100	110	64,7
	AF2	5	9,4	13	11,2	0	0	18	10,6
	AF3	8	15,1	34	29,3	0	0	42	24,7

Nota: Clasificación de los grupos según los rangos audibles de f (C - convencional y grupos A - alta frecuencia), y las OEAPD

Amplitudes de las OEAPD de los grupos C y AF

El análisis de las amplitudes de acuerdo a los grupos C y AF en ambos oídos se muestra en la Figura 2. Se observó que los grupos C1 manifestaron amplitudes más altas en la mayoría de las frecuencias respecto al grupo C2. Por otra parte, en ambos oídos de los grupos AF, las amplitudes resultaron mayores en AF1. En el oído derecho, los valores del grupo AF3 mostraron valores menores, mientras que en el oído izquierdo los valores menores se encontraron en el grupo AF2.

Las amplitudes de la frecuencia 8000 Hz de los grupos C y AF manifestaron valores disminuidos (cerca de 0 dB SPL y/o valores negativos) respecto a las otras frecuencias. Asimismo, la frecuencia 3000 Hz de ambos oídos mostró una disminución en ambos grupos (C y AF) principalmente en la clasificación 2 y 3.

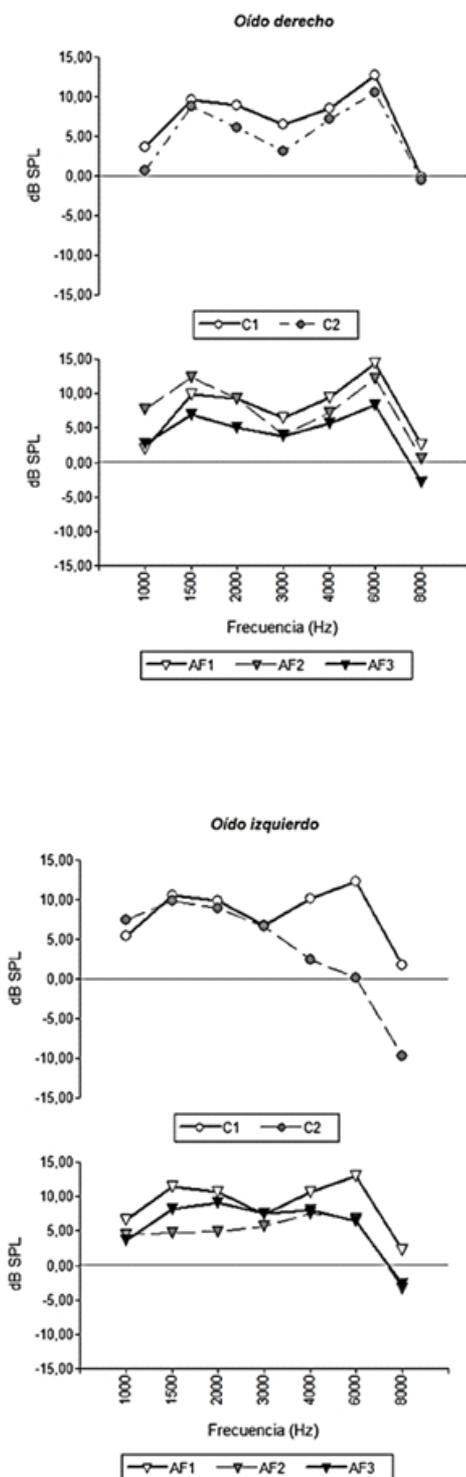


Figura 2. Mediana de la amplitud de las otoemisiones productos de distorsión de acuerdo a los grupos C y AF

Umrales auditivos de los grupos DP

En ambos oídos los UA de los grupos DP (Figura 3), se observó que en el grupo DP2, en la mayoría de las frecuencias presentaron valores incrementados respecto al grupo DP1. Solamente en las frecuencias 2000 a 4000 Hz del oído derecho los UA del DP1 estuvieron levemente incrementados.

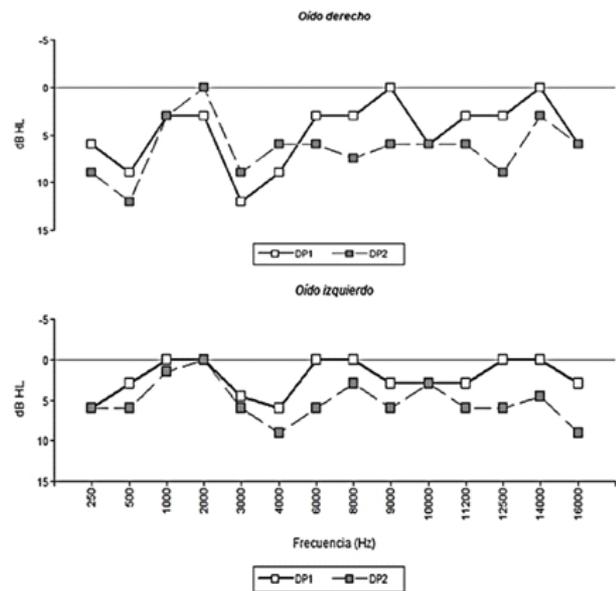


Figura 3. Mediana de umbrales auditivos en el rango convencional y extendido de alta frecuencia de acuerdo los grupos DP1 y DP2

Discusión

El objetivo de este trabajo fue analizar los indicadores subclínicos de los umbrales auditivos aéreos en los rangos convencionales y EAF y las amplitudes de las otoemisiones acústicas productos de distorsión de jóvenes universitarios.

En primer lugar, la evaluación de los umbrales auditivos mediante convencional y EAF, mostró que la mayoría de los oídos presentaron UA conservados en toda la gama de frecuencias evaluadas. Sin embargo, hubo oídos con UA conservados en el rango convencional y con UA mayores a 24 dB HL en el rango EAF (grupos AF2 y AF3). Al respecto, en la investigación de Mepani et al. (2020), los jóvenes (18 y 30 años) y adultos (>30 a 63 años), mostraron UA convencional dentro de los valores normales e incrementos y diferencias significativas en todas las frecuencias del rango EAF. Además, indicaron que el desplazamiento del umbral EAF se correlacionó significativamente con la edad. En otro trabajo, en adolescentes colombianos, con edad promedio de 15,5 años, los UA convencionales resultaron dentro de los parámetros normales y hubo un desplazamiento del umbral EAF en el 15% de adolescentes, además señalaron una tendencia a la mejoría de los UA a partir de los 11200 y 14000 Hz en ambos oídos (Peñaranda et al., 2020).

Este trabajo identificó oídos con muescas incipientes (alrededor de 12 a 18 dB HL) entre las frecuencias: a) 2000 a 6000 Hz, y en el caso particular de la frecuencia 4000 Hz se observó un escotoma alrededor de 35 dB HL; b) 8000 a 10000 Hz; c) 8000 a 12500 Hz. En consonancia con estos resultados, Passos y Fiorini (2016), reportaron incrementos del umbral auditivo en las frecuencias 3000, 4000 y 6000 Hz dentro de los valores considerados normales en adolescentes y jóvenes músicos. En este sentido, Ramrattan y Gurevich (2020) sugieren que ambos grupos etarios

que realizan prácticas con instrumentos musicales, son un grupo con mayor riesgo de padecer pérdida auditiva, principalmente, entre las frecuencias 3000 y 6000 Hz.

Los principales predictores de muescas audiométricas señala Bath (2020) son en las frecuencias 6000 y 8000 Hz para mediciones de niveles de presión sonora mediante la utilización de micrófonos en oído real. Observó una mayor prevalencia de audiogramas con muescas cuando se usaron auriculares supraurales TDH50P en comparación a los auriculares de inserción ER3A, aunque no mostraron evidencia convincente de disfunción coclear según la evaluación de los DPOAE hasta 16000 Hz. En suma, hallaron errores de calibración en las frecuencias audiométricas que imitaban un patrón similar a una muesca en ausencia de daño coclear inducido por el ruido, probablemente asociada a un conducto auditivo más corto principalmente cuando se utilizaron los auriculares supraurales. Por lo tanto, recomienda que los auriculares supraurales no deben usarse para estimar la prevalencia de pérdida auditiva inducida por ruido y que es apropiado seleccionar las técnicas de calibración de oído real que se encuentren menos influenciadas por las ondas estacionarias en el conducto auditivo externo. En la presente investigación se utilizaron auriculares supraurales Sennheiser HDA200 para ambos rangos audiométricos calibrados según la norma ISO 389-8 (2004). Cabe aclarar que en el ámbito clínico regional suelen utilizarse los auriculares supraurales para la medición de los umbrales auditivos.

Respecto a los incrementos del umbral auditivo EAF, investigaciones previas señalaron que los jóvenes a partir de los 18 años, muestran un desplazamiento del umbral auditivo, principalmente en las frecuencias 10000, 11200, 12500, 14000 y 16000 Hz, asociado con la presencia de una muesca audiométrica en el rango convencional, principalmente en la frecuencia 4000 Hz (Wei et al., 2017; Tinazli y Tinazli, 2022). El estudio de Mehrparvar et al. (2014), señala que las frecuencias 4000, 6000, 14000 y 16000 Hz manifiestan el umbral más alto después de la exposición al ruido. Esto lleva a nuevas indagaciones sobre la hipótesis de que el incremento del umbral auditivo en el rango EAF podría ser indicador de la aparición de una muesca audiométrica en etapas posteriores.

En el presente estudio los umbrales auditivos de los grupos C y AF pertenecientes a la clasificación 2 y 3 presentaron incrementos respecto a la clasificación 1, principalmente en las bandas de 4000, 6000, 14000 y 16000 Hz. Estos resultados son consistentes con estudios recientes. Osmanlı et al. (2024), señala que el deterioro temprano de la audición en las frecuencias 4000, 6000, 14000 y 16000 Hz, podría incrementar eminentemente y estar relacionado con la escucha de música alta o muy alta con auriculares por períodos prolongados. Ergun et al. (2024), encontró umbrales auditivos incrementados en las frecuencias 4000, 14000 y 16000 Hz en jóvenes que se exponen a música recreativa; además, señala que aquellos jóvenes expuestos a música son más propensos a mostrar dificultades en la discriminación del habla en ambientes ruidosos, presentar tinnitus y pérdida auditiva después de la exposición. En este sentido, la presencia de estos síntomas auditivos podrían ser los primeros indicadores subclínicos de la audición, de lo que se ha definido en la literatura actual como pérdida auditiva oculta, ya que la persona que la padece aparenta tener una audición clínicamente normal (Valderrama et al., 2018; 2022).

En este sentido, el daño causado por el ruido erige un déficit en la función de la codificación sináptica de la vía aferente, la propiedad tonotópica en la base de la cóclea y la vía eferente, no logra ser detectado por los métodos de medición auditiva tradicionales. Diferentes investigaciones que estudiaron la audición de jóvenes expuestos a ruido con umbrales auditivos convencional clasificados como "normal" ($250 \text{ a } 8000 \leq 20 \text{ dB HL}$), identificaron hallazgos que podrían considerarse indicadores subclínicos de pérdida auditiva oculta; los hallazgos mostraron umbrales auditivos EAF significativamente elevados (Tinazli y Tinazli, 2022), incremento de umbrales auditivos EAF y reducción en las respuestas del mecanismo eferente de protección coclear (Romero e Hinalaf, 2023) y disminución en las

respuestas del mecanismo de protección en personas con tinnitus e hiperacusia (Knudson et al., 2014); además, los hallazgos muestran disminución del mecanismo de protección y anomalías en la sinapsis entre las células ciliadas internas y la vía aferente (Çıldır y Togöz-Yılmaz, 2021).

En el presente trabajo se evaluaron 85 participantes, en algunos jóvenes hubo casos de no respuesta en las frecuencias 8000 ($n=1$), 14000 ($n=1$) y 16000 ($n=3$) Hz. En las dos frecuencias pertenecientes al rango extendido, el límite de salida máxima del audiómetro fue 54 dB HL. Esto coincide parcialmente con el trabajo realizado por Mishra et al. (2022), quienes también informaron casos de no respuesta en la frecuencia 16000 Hz.

Los oídos estudiados en este trabajo, mostraron mayor susceptibilidad en los umbrales del oído derecho, principalmente en los hombres quienes presentaron casos de no respuesta en la frecuencia 16000 Hz ($n=3$) y 14000 Hz ($n=1$). En consonancia con estos resultados, los estudios de Motlagh Zadeh et al. (2019) y Asghar et al. (2022), informan que los jóvenes son más susceptibles a la pérdida auditiva en su oído derecho (47%) sobre el izquierdo (39%). Si bien el presente trabajo no estudia una posible asimetría de incrementos de los umbrales audibles, se cree que la susceptibilidad más pronunciada en el lado derecho de los jóvenes podría atribuirse a un déficit incipiente en el mecanismo eferente de protección coclear, lo cual aumenta la vulnerabilidad a los efectos del ruido (Nageris et al., 2007).

En segundo lugar, se evaluó la función auditiva coclear mediante la prueba de OEAPD. Los resultados evidenciaron una disminución de las amplitudes a medida que se avanza en la clasificación 2 y 3. Estudios previos del equipo de investigación, evaluaron las OEAPD en estudiantes universitarios con audición normal. Entre el 50% al 65% de los oídos se evidenció ausencia o disminución de respuesta en al menos una frecuencia estudiada (Hinalaf et al., 2017b; Pérez et al., 2020).

Otros trabajos que analizaron la exposición a ruido en jóvenes, hallaron una correlación negativa entre las amplitudes OEAPD a altas frecuencias y niveles sonoros $> 80 \text{ dB}$, es decir, las amplitudes eran reducidas (a pesar de los umbrales de audición normales $\leq 25 \text{ dB HL}$) en participantes que preferían escuchar música a alto volumen (Kumar y Deepashree, 2016; Sulaiman et al., 2015).

Además, el presente trabajo evidenció amplitudes con valores cercanos a 0 dB y valores negativos en las frecuencias 1000 y 8000 Hz. En un estudio realizado por Da Silva et al. (2012), la tasa de prevalencia de OEAPD alterados fue mayor en el oído derecho que en el oído izquierdo, con un total del 97,8% de resultados fallidos en ambos oídos. Al analizar las amplitudes de OEAPD en los dos oídos a 8000 Hz y 12500 Hz fueron significativamente menores que las amplitudes observadas en otras frecuencias. Los criterios de normalidad se establecieron cuando las amplitudes fueron $\geq -5 \text{ dB}$ y las relaciones señal/ruido fueron $\geq 6 \text{ dB}$ en las seis frecuencias evaluadas (2000 Hz a 12500 Hz).

En este sentido, las OEAPD permitieron evaluar la función coclear desde la espira basal hasta la espira apical de la cóclea. La respuesta a frecuencias más bajas es más difícil de medir debido a la presencia de ruido ambiental e interno; es por ello que las emisiones proporcionan información más precisa en frecuencias por encima de 2000 Hz, a excepción de las respuestas a 8000 Hz que generalmente no son buenas (Azevedo, 2003).

En esta investigación las frecuencias 1000, 6000 y 8000 Hz manifestaron reducción o ausencia en las amplitudes. Los resultados de Mehrparvar et al. (2014) muestran que las frecuencias 3000, 4000 y 6000 Hz de la OEAPD fueron más sensible al ruido que la audiometría convencional, lo que fue consistente con los resultados de otros estudios (Shupak et al., 2007; Baradarnfar et al., 2012).

En tercer lugar, este estudio ha observado la ya conocida relación entre los umbrales auditivos convencionales y los niveles de otoemisiones acústicas, es decir, que los niveles de OEAPD disminuyen a medida que los umbrales auditivos incrementan. Incluso, se ha

identificado que los umbrales EAF y los niveles de OEAPD empeoran en paralelo con umbrales más deteriorados (AF/DP 2 y 3) aun cuando la audición en el rango convencional está dentro de los límites normales. En este sentido, hallazgos previos sobre la correlación entre las OEAPD, tanto dentro del rango de frecuencias convencionales como del rango EAF, mostraron que las otoemisiones acústicas disminuyen a medida que la audición se deteriora (Jedrzejczak et al., 2022; 2023).

Sin embargo, otras investigaciones sugieren que los DPOAE ante la exposición a ruido son más sensibles al daño coclear. En ocasiones disminuyen o desaparecen incluso cuando los umbrales auditivos permanecen sin cambios (Attias et al., 2001; Marshall et al. 2009). Job et al. (2009) sustenta la hipótesis de que los niveles reducidos de DPOAE pueden ser biomarcadores potenciales de vulnerabilidad en oídos con audición aparentemente normal.

En una investigación con estudiantes de música y un grupo control se observaron umbrales auditivos significativamente menores en el rango de frecuencia de 250 a 3000 Hz en los músicos en comparación al grupo control, mientras que no hubo diferencias significativas entre los grupos a partir de la frecuencia 4000 a 8000 Hz. Sin embargo, las amplitudes de OEAPD se redujeron significativamente (6000 y 8000 Hz) en los estudiantes de música, en comparación con el grupo de control (Pawlaczyk-Luszczyszka et al., 2021).

Degeest et al. (2017) evaluó el estado auditivo de un grupo de 517 adultos jóvenes flamencos entre 18 y 30 años. Encontró que los jóvenes con pérdida auditiva subclínica manifestaron ausencia de OEAPD, mientras que, los jóvenes con audición normal conservan la presencia de OEAPD. Las amplitudes promedio de toda la muestra fueron mayores a 0 dB SPL en todas las frecuencias observándose descensos en las frecuencias 3000 y 8000 Hz. Resultados similares fueron encontrados en la presente investigación, las amplitudes disminuidas (cercanas a 0 dB SPL y/o valores negativos) se evidenciaron en la frecuencia 8000 Hz de los grupos C y AF. Asimismo, la frecuencia 3000 Hz de ambos oídos mostraron una disminución en ambos grupos (C y AF) principalmente en la clasificación 2 y 3. En el trabajo de Buchler et al. (2012), reportaron que en jóvenes militares entre 19 y 24 años, los umbrales auditivos afectados por el ruido se manifestaron en las frecuencias 3000, 6000, 11000 y 14000 Hz, además encontraron que los DPOAE fueron más severamente afectados en la frecuencia 6000 Hz.

Los resultados del presente trabajo en consonancia con otros estudios, conducen hasta aquí a la identificación de frecuencias auditivas vulnerables detectadas complementariamente mediante la audiometría convencional, EAF y OEAPD.

Conclusión

El estudio de la audición para el diagnóstico y detección temprana de la pérdida auditiva, permite actuar de manera preventiva e implementar medidas necesarias sobre los jóvenes con mayor riesgo de deterioro auditivo. Los resultados de esta investigación, orientados a analizar la complementariedad de la audiometría tonal en el rango convencional, la audiometría EAF y las amplitudes de las OEAPD de jóvenes universitarios, permitieron identificar indicadores subclínicos de oídos vulnerables a una potencial pérdida auditiva.

Por un lado, en futuros trabajos resultaría interesante incluir pruebas auditivas no convencionales que contribuyan al estudio de la audición en función de la codificación sináptica de la vía auditiva aferente y eferente, y la detección de indicadores incipientes de pérdida auditiva que no logran ser detectados por los métodos de medición auditiva tradicionales. Por otro lado, conocer los aspectos psicosociales de los jóvenes a través de herramientas de autorreporte, podrían ser útiles para advertir sobre su comportamiento y el riesgo de la exposición a ruido que podrían asociarse a daños irreversibles en la audición. Además, puede resultar beneficioso complementar con pruebas de habla en ruido para aumentar la

posibilidad de detectar signos tempranos de pérdida auditiva inducida por ruido.

Las investigaciones futuras deberían ser orientadas a la incorporación de pruebas auditivas no convencionales y a lograr metodologías estandarizadas en las mediciones de la audición en vista de fortalecer la batería audiológica tradicional que contribuyen a la detección y diagnóstico de alteración auditiva.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación de la cátedra Formulación y Evaluación de Proyectos en Fonoaudiología, FCS-UCSE. Los autores agradecen a Aylen V. Frías Cisneros, Mariana Lescano Prados, Luciana M. Cáceres, Rocío A. Salto por su participación en calidad de becarias en fases iniciales del trabajo. Esta investigación fue apoyada por la UCSE durante los años 2023 y 2024, por Disposición N° 116/23.

Referencias Bibliográficas

- Attias, J., Horovitz, G., El-Hatib, N., y Nageris, B. (2001). Detection and clinical diagnosis of noise-induced hearing loss by otoacoustic emissions. *Noise and health*, 3(12), 19-31.
- Asghar, S., Khan, H., Parveen, S., y Rafi, S. T. (2022). Frequency of hearing loss among medical students using electroacoustic device. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 38(3), 668-673.
- Azevedo, M. F. (2003). Emissões otoacústicas. En: Figueiredo, M. S. *Emissões Otoacústicas e BERA*. (pp.35-83). Pulso.
- Baradarnfar, M. H., Karamifar, K., Mehrparvar, A. H., Mollasadeghi, A., Gharavi, M., Karimi, G., Vahidy, M. R., Baradarnfar, A., y Mostaghaci, M. (2012). Amplitude changes in otoacoustic emissions after exposure to industrial noise. *Noise and Health*, 14(56), 28-31.
- Bhatt, I. S. (2020). Determinants of the audiometric notch at 4000 and 6000 Hz in young adults. *Journal of the American Academy of Audiology*, 31(06), 371-383.
- Bramhall, N. F., McMillan, G. P., y Mashburn, A. N. (2021). Subclinical auditory dysfunction: Relationship between distortion product otoacoustic emissions and the audiogram. *American journal of audiology*, 30(3), 854-869.
- Büchler, M., Kompis, M., y Hotz, M. A. (2012). Extended frequency range hearing thresholds and otoacoustic emissions in acute acoustic trauma. *Otology & neurotology*, 33(8), 1315-1322.
- Çıldır, B., y Togöz-Yılmaz, S. (2021). Noise-induced Cochlear Synaptopathy in Dental Prosthesis Students. *Cyprus journal of medical sciences*. 9(1), 51-57.
- Da Silva, V. G., Sampaio, A. L. L., Oliveira, C. A. C. P. D., Tauil, P. L., y Jansen, G. M. B. (2012). Hair cell alteration prevalence rates in students of a school in Distrito Federal. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 78, 91-97.
- Degeest, S., Clays, E., Corthals, P., y Keppler, H. (2017). Epidemiology and risk factors for leisure noise-induced hearing damage in Flemish young adults. *Noise and Health*, 19(86), 10-19.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., y Robledo, C. (2018). InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, <https://www.infostat.com.ar/>
- Dillard, L. K., Matthews, L. J., y Dubno, J. R. (2024). Prevalence of self-reported hearing difficulty on the Revised Hearing Handicap Inventory and associated factors. *BMC geriatrics*, 24(1), 510.
- Ergun, O., Cakmak, E., y Alniacik, A. (2024). Recreational music exposure and hearing health in young adults. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 281, 4373-4378.
- Gaetán, S., Tenutta, M., Bertinatti, A., Vicente, F., Muratore, J., Maggi, A. L., Hinalaf, M., & Ferreyra, S. P. (2019). Evaluación de características acústicas de cabinas

- audiométricas fijas y móviles del CINTRA. *Mecánica Computacional*, 37(5), 67-76.
- Groh, D., Pelanova, J., Jilek, M., Popelar, J., Kabelka, Z., y Syka, J. (2006). Changes in otoacoustic emissions and high-frequency hearing thresholds in children and adolescents. *Hearing research*, 212(1-2), 90-98.
- Guinan Jr, J. J. (2010). Cochlear efferent innervation and function. *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery*, 18(5), 447-453.
- Henderson, E., Testa, M. A., y Hartnick, C. (2011). Prevalence of noise-induced hearing-threshold shifts and hearing loss among US youths. *Pediatrics*, 127(1), e39-e46.
- Hinalaf, M., Maggi, A. L., Hüg, M. X., Kogan, P., Villalobo, J. P., y Biassoni, E. C. (2017a). Tinnitus, medial olivocochlear system, and music exposure in adolescents. *Noise and Health*, 19(87), 95-102.
- Hinalaf, M., Maggi, A. L., Pérez Villalobo, J. A., Muratore, J., Gaetán, S., Hüg, M. X., y Biassoni, E. C. (2017b). Supresión contralateral de otoemisiones acústicas producto de distorsión en adolescentes con audición normal. *Revista Mecánica Computacional*, 35(2), 49-60.
- Imam, L., y Hannan, S. A. (2017). Noise-induced hearing loss: a modern epidemic?. *British Journal of Hospital Medicine*, 78(5), 286-290.
- Jedrzejczak, W. W., Pilka, E., Ganc, M., Kochanek, K., y Skarzynski, H. (2022). Ultra-high frequency distortion product otoacoustic emissions for detection of hearing loss and tinnitus. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2123.
- Jedrzejczak, W. W., Pilka, E., Pastucha, M., Kochanek, K., y Skarzynski, H. (2023). Extended High Frequency Thresholds and Their Relationship to Distortion Product Otoacoustic Emissions, Hearing Acuity, Age, Gender, Presence of Spontaneous Otoacoustic Emissions, and Side of Measurement. *Applied Sciences*, 13(18), 10311.
- Job, A., Raynal, M., Kosowski, M., Studler, M., Ghernaoui, C., Baffioni-Venturi, A., Raux, A., Darolles, D., y Guelorget, A. (2009). Otoacoustic detection of risk of early hearing loss in ears with normal audiograms: a 3-year follow-up study. *Hearing research*, 251(1-2), 10-16.
- Knudson, I. M., Shera, C. A., y Melcher, J. R. (2014). Increased contralateral suppression of otoacoustic emissions indicates a hyperresponsive medial olivocochlear system in humans with tinnitus and hyperacusis. *Journal of neurophysiology*, 112(12), 3197-3208.
- Kumar, U. A., y Deepashree, S. R. (2016). Personal music systems and hearing. *The Journal of Laryngology & Otology*, 130(8), 717-729.
- Laffoon, S. M., Stewart, M., Zheng, Y., y Meinke, D. K. (2019). Conventional audiometry, extended high-frequency audiometry, and DPOAEs in youth recreational firearm users. *International journal of audiology*, 58(sup1), S40-S48.
- Lapsley Miller, J.A. y Marshall, L. (2007). Otoacoustic emissions as a preclinical measure of NIHL and susceptibility to NIHL. En: M.S. Robinette & T.J. Glatke (eds.) *Otoacoustic Emissions, Clinical Application*, 3rd ed. New York: Thieme. pp. 321-341.
- Marshall, L., Lapsley Miller, J. A., Heller, L. M., Wolgemuth, K. S., Hughes, L. M., Smith, S. D., y Kopke, R. D. (2009). Detecting incipient inner-ear damage from impulse noise with otoacoustic emissions. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(2), 995-1013.
- Mehrpavar, A. H., Mirmohammadi, S. J., Davari, M. H., Mostaghaci, M., Mollasadeghi, A., Bahaloo, M., y Hashemi, S. H. (2014). Conventional audiometry, extended high-frequency audiometry, and DPOAE for early diagnosis of NIHL. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, 16(1): e9628.
- Mepani, A. M., Kirk, S. A., Hancock, K. E., Bennett, K., de Gruttola, V., Liberman, M. C., y Maison, S. F. (2020). Middle-ear muscle reflex and word-recognition in "normal hearing" adults: evidence for cochlear synaptopathy?. *Ear and hearing*, 41(1), 25-38.
- Mishra, S. K., Saxena, U., y Rodrigo, H. (2022). Extended high-frequency hearing impairment despite a normal audiogram: Relation to early aging, speech-in-noise perception, cochlear function, and routine earphone use. *Ear and hearing*, 43(3), 822-835.
- Motlagh Zadeh, L., Silbert, N. H., Sternasty, K., Swanepoel, D. W., Hunter, L. L., y Moore, D. R. (2019). Extended high-frequency hearing enhances speech perception in noise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(47), 23753-23759.
- Nageris, B. I., Raveh, E., Zilberberg, M., y Attias, J. (2007). Asymmetry in noise-induced hearing loss: relevance of acoustic reflex and left or right handedness. *Otology & Neurotology*, 28(4), 434-437.
- Organización Mundial de la Salud (2024). Sordera y pérdida de la audición. Report [en línea] 2 de febrero de 2024 [Consultado: 28 de agosto de 2024] Disponible en la URL <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- Osmanoğlu, H., Dizdar, H. T., y Koçyiğit, A. A. (2024). The effects of music listening time with headphones on hearing thresholds among the young population. *The Egyptian Journal of Otolaryngology*, 40(1), 13.
- Passos, P. S., y Fiorini, A. C. (2016). Efeitos auditivos em jovens músicos de uma banda filarmônica. *Distúrbios da Comunicação*, 28(3), 539-547.
- Pawlaczyk-Luszczyska, M., Zamajska-Daniszevska, M., Dudarewicz, A., y Zaborowski, K. (2021). Pure-tone hearing thresholds and otoacoustic emissions in students of music academies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1313.
- Peñaranda, D., Pérez-Herrera, L. C., Hernández, D., Moreno-López, S., Perea, I., Jacome, M., Suetta-Lugo, N., García, J. M. y Peñaranda, A. (2021). Prevalence of extended high-frequency hearing loss among adolescents from two rural areas in Colombia. *International Journal of Audiology*, 60(5), 365-373.
- Pérez, P. G., Sotomayor, F., Vilella, S. S., Maggi, A. L., Zalazar-Jaime, M. F., e Hinalaf, M. (2020). Participación en actividades recreativas con exposición sonora y mecanismo coclear de protección auditiva en jóvenes universitarios. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 12(3), 92-104.
- Prendergast, G., Guest, H., Munro, K. J., Kluk, K., Léger, A., Hall, D. A., Heinz, M. G., y Plack, C. J. (2017). Effects of noise exposure on young adults with normal audiograms I: Electrophysiology. *Hearing research*, 344, 68-81.
- Ramrattan, H., y Gurevich, N. (2020). Prevalence of noise-induced hearing loss in middle and high school band members: a preliminary study. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 72(4), 302-308.
- Romero, L. e Hinalaf, M. A. (2023). Umbrales auditivos convencional y extendido de alta frecuencia, y efecto supresor contralateral: una comparación entre adolescentes y jóvenes. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Médicas. Escuela de Fonoaudiología.
- Shupak, A., Tal, D., Sharoni, Z., Oren, M., Ravid, A., y Pratt, H. (2007). Otoacoustic emissions in early noise-induced hearing loss. *Otology & Neurotology*, 28(6), 745-752.
- Sulaiman, A. H., Husain, R., y Seluakumar, K. (2015). Hearing Risk among Young Personal Listening Device Users: Effects at High-Frequency and Extended High-Frequency Audiogram Thresholds. *Journal of International Advanced Otology*, 11(2), 104-109.
- Tinazli, R., y Tinazli, M. (2022). Detection and grading of early-stage cochlear damage in land hunters by comparison of extended

- high-frequency audiograms with conventional high-frequency audiograms. *Journal of Audiology & Otology*, 26(2), 83-89.
- Valderrama, J. T., Beach, E. F., Yeend, I., Sharma, M., Van Dun, B., y Dillon, H. (2018). Effects of lifetime noise exposure on the middle-age human auditory brainstem response, tinnitus and speech-in-noise intelligibility. *Hearing research*, 365, 36-48.
- Valderrama, J. T., De la Torre, A., y McAlpine, D. (2022). The hunt for hidden hearing loss in humans: From preclinical studies to effective interventions. *Frontiers in Neuroscience*, 16, 1000304.
- Wang, Q., Yang, L., Qian, M., Hong, Y., Wang, X., Huang, Z., y Wu, H. (2021). Acute recreational noise-induced cochlear synaptic dysfunction in humans with normal hearing: a prospective cohort study. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 659011.
- Wei, W., Heinze, S., Gerstner, D. G., Walser, S. M., Twardella, D., Reiter, C., Weinhhammer, V., Perez-Alvarez, C., Steffens, T., y Herr, C. E. W. (2017). Audiometric notch and extended high-frequency hearing threshold shift in relation to total leisure noise exposure: An exploratory analysis. *Noise and Health*, 19(91), 263-269.
- Wolpert, S., Heyd, A., y Wagner, W. (2014). Assessment of the noise-protective action of the olivocochlear efferents in humans. *Audiology and Neurotology*, 19(1), 31-40.
- Wu, P. Z., O'Malley, J. T., de Gruttola, V., y Liberman, M. C. (2021). Primary neural degeneration in noise-exposed human cochleas: correlations with outer hair cell loss and word-discrimination scores. *Journal of Neuroscience*, 41(20), 4439-4447.
- Zelle, D., Dalhoff, E., y Gummer, A. W. (2017). Objective audiometry with DPOAEs: new findings for generation mechanisms and clinical applications. *Hno*, 65(Suppl 2), 122.